

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II

DOTTORATO DI RICERCA
IN AGROBIOLOGIA E AGROCHIMICA - XXVI CICLO
DIPARTIMENTO DI AGRARIA
MIGLIORAMENTO GENETICO E ORTICOLTURA (*Cod. 4*)

**Costituzione e valutazione di portainnesti ibridi di peperone
(*Capsicum spp.* L.) resistenti a fitopatie del terreno**

Tutore

Ch.mo Prof. Domenico Carputo

Coordinatore

Ch.mo Prof. Domenico Carputo

Candidato

Dott. Andrea Mattiuzzo

*...al piccolo Alessandro
il nostro miracolo...*

INDICE

1. INTRODUZIONE	1
1.1. Importanza economica e caratteristiche botaniche del peperone	2
1.2. Le principali avversità biotiche e abiotiche	7
1.3. Le patologie oggetto del lavoro di dottorato: la cancrena pedale e le galle radicali	12
1.4. Il miglioramento genetico del peperone	17
1.5. Il miglioramento genetico dei portainnesti e loro uso nelle specie ortive di maggiore interesse	21
1.6. Obiettivi della tesi	22
2. MATERIALI E METODI	24
2.1. Il materiale vegetale	25
2.2. Metodi	25
2.3. Valutazione (in campo) dell'infezione nei portainnesti da <i>Meloidogyne incognita</i> e <i>Phytophthora capsici</i>	28
2.4. L'analisi statistica dei dati ottenuti dalle prove sperimentali in campo	29
2.5. Produzione e valutazione di progenie BC1F1 e BC2F2 resistenti a <i>Fusarium</i> <i>solani</i>	31
3. RISULTATI	33
3.1. Le prove agronomiche in campo nell'anno 2011	34
3.1.1. La prova nell'areale di Fondi, la resistenza a <i>M. Incognita</i>	34
3.1.2. La prova nell'areale di Fondi, le valutazioni agronomiche	39
3.1.3. La prova nell'areale di Battipaglia (Giffoni-Vallepiana), la resistenza a <i>P.</i> <i>capsici</i> e <i>M. Incognita</i>	44
3.1.4. La prova nell'areale di Battipaglia (Giffoni-Vallepiana), le valutazioni agronomiche	49
3.2. Le prove agronomiche in campo nell'anno 2012	52
3.2.1. La prova nell'areale di Fondi, la resistenza a <i>M. Incognita</i>	52
3.2.2. La prova nell'areale di Fondi, le valutazioni agronomiche	55
3.2.3. La prova nell'areale di Fondi, l'analisi fenomorfológica	58
3.2.4. La prova nell'areale di Battipaglia (Pontecagnano 1), l'analisi fenomorfológica	59
3.2.5. La prova nell'areale di Battipaglia (Giffoni-Vallepiana), la resistenza a <i>P.</i> <i>Capsici</i>	60
3.2.6. La prova nell'areale di Battipaglia (Pontecagnano 2), la prova di affinità	62
3.3. Le prove agronomiche in campo nell'anno 2013	69
3.3.1. La prova nell'areale di Fondi, le valutazioni agronomiche	69
3.3.2. La prova nell'areale di Fondi, l'analisi fenomorfológica	71
3.3.3. La prova nell'areale di Battipaglia (Pontecagnano 1), le valutazioni agronomiche	73
3.3.4. La prova nell'areale di Battipaglia (Pontecagnano 1), l'analisi fenomorfológica	75
3.4. Produzione e valutazione di progenie BC1F1, BC2F1 resistenti a <i>F. Solani</i>	77
4. DISCUSSIONE	79
5. CONCLUSIONI	92
6. BIBLIOGRAFIA	95

1. INTRODUZIONE

1.1. Importanza economica e caratteristiche botaniche del peperone

La Famiglia delle Solanacee comprende diversi generi economicamente importanti per l'uomo, quali il pomodoro (*Solanum lycopersicum* L. originario del Perù), la patata (*Solanum tuberosum* L. nativa del Perù e del Cile), la melanzana (*Solanum melogena* L. dall'India), il tabacco (*Nicotiana tabacum* L. dall'America), il peperone (*Capsicum annum* L.). Quest'ultimo è originario della zona tropico-equatoriale del Centro e Sud America, ma è ampiamente coltivato in tutto il mondo sia in Paesi a clima temperato-caldo che in aree tropicali e sub-tropicali. Già tra il 5200 ed il 3400 a.C. si hanno evidenze della sua presenza, mentre l'introduzione in Europa è dovuta a Cristoforo Colombo al ritorno del suo viaggio nelle Americhe. Dall'Europa si diffuse poi in tutto il mondo fino alla Cina nel 1700. La parte edule della pianta è rappresentata dal frutto, una bacca, che può essere utilizzata fresca, trasformata o come condimento sotto forma di polveri .

Tab 1.1. Superficie coltivata (ha) e produzione (t) di peperone nelle diverse aree mondiali FAOSTAT, 2014

Areale di produzione	Ettari raccolti (mercato fresco+essiccato)
Africa	910.953
America	264.714
Asia	2.538.982
Australia, Nuova Zelanda	2.566
Europa	186.956
Mondo	3.904.349
Areale di produzione	Produzione (t) (mercato fresco+essiccato)
Africa	3.504.529
America	4.296.262
Asia	23.718.962
Australia, Nuova Zelanda	56.500
Europa	2.946.565
Mondo	34.523.730

Come mostrato in tabella 1.1 la superficie mondiale destinata alla coltivazione delle diverse specie eduli del gene *Capsicum* è di 3.904.349 ettari (FAOSTAT, 2014). A livello mondiale l'Asia è tra i primi posti sia per la produzione di peperone fresco che in polvere, seguita dall'Africa e dalle Americhe. Tra i Paesi che maggiormente concorrono alla produzione mondiale totale (34.523.730 tonnellate) sono la Cina (16.023.500 t.), Messico (2.379.736 t.), Turchia (2.072.132 t.), Indonesia (1.656.615 t.) Stati Uniti (1.064.800 t.). In Europa il paese con maggior produzione di prodotto sia fresco che processato è la Spagna

(1.023.700 t.), seguita dall'Olanda (345.000 t.), dalla Romania (207.072 t.), dall'Italia (191.351 t.) e dalla Grecia (167.900 t.). Per quanto riguarda la produzione di peperone in forma disidratata, sia dolce che piccante, l'India (1.299.940 t.) è la maggior produttrice seguita dalla Cina (290.000 t.) e dal Perù (175.000 t.). In Italia (in accordo con i dati FAOSTAT dell'anno 2012) sono coltivati 9.036 ettari tra pieno campo e serra e la produzione totale è stata di 191.351 tonnellate per la quasi totalità di prodotto da consumare fresco.

La specie più allevata, *Capsicum annuum*, presenta attualmente sette varietà botaniche descritte e divise in base alla bacca prodotta e sono:

- *C. annuum* var. *abbreviatum* (Fingerh), con bacche di forma ovoidale, medio piccole ed irregolari (Heiser, 1976)
- *C. annuum* var. *cerasiformae* (Irish), con frutti a forma di ciliegia, piccanti e con polpa compatta (Heiser, 1976)
- *C. annuum* var. *conoides* (Irish), con frutti conici di circa 3 centimetri, piccanti con portamento eretto (Heiser, 1976)
- *C. annuum* var. *fasciculatum* (Irish), i frutti sono molto piccanti, eretti, di lunghezza intorno ai 7 centimetri, raggruppati in piccoli mazzi (Heiser, 1976)
- *C. annuum* var. *acuminatum* (Fingerh), le bacche sono di una forma oblunga e appuntita, la dimensione supera i 9 centimetri e generalmente sono piccanti (Heiser, 1976)
- *C. annuum* var. *longum* (Sendt), con bacche allungate ripiegate verso il basso e rastremate all'apice (Heiser, 1976)
- *C. annuum* var. *grossum* (Sendt), con bacche di grande pezzatura, ripiegate verso il basso e sono generalmente dolci con una spessa polpa (Heiser, 1976)

C. annuum trova il suo habitat ideale nelle regioni tropicali, dove vegeta e fruttifica in tutte le stagioni mentre con il nostro clima la pianta è annua. Determinante è il condizionamento esplicato dalla temperatura, la quale può risultare pregiudizievole per la sopravvivenza, impedita sotto i 4-5 °C e sopra i 42-44 °C. Inoltre *C. annuum* è una pianta eliofila e longigiurna e dunque per la fioritura e allegagione predilige elevata intensità luminosa e fotoperiodo di 16 ore. La pianta solitamente ha un portamento eretto con un'altezza che

può variare dai 40 ai 200 centimetri e presenta numerose ramificazioni che partono dal fusto principale dal portamento erbaceo. Il peperone è una pianta prevalentemente autogama con percentuali di allogamia che vanno dall'1 al 30%. Il frutto prodotto è una bacca non deiscente carnosa e durante lo sviluppo, l'esocarpo, dapprima raggiunge una colorazione verde brillante o, in alcuni casi avorio, per poi virare con la maturazione verso tonalità variabili del giallo, rosso, viola e bruno. Anche la forma della bacca è molto variabile, la quale caratterizza le varie tipologie merceologiche. All'interno la bacca presenta degli spazi vuoti in numero variabile chiamati logge. Esse sono suddivise da setti placentari biancastri che partono dall'attacco peduncolare, formando uno spesso tessuto spugnoso, fino ad arrivare all'estremità terminale del frutto. Sulla placenta sono inseriti i semi di forma tonda-reniforme, appiattiti, con diametro di circa 0.5 centimetri. Il colore dei semi è solitamente giallo crema, sono neri quelli del *C. baccatum*. In prossimità dei semi e lungo i setti placentari possono trovarsi, nelle specie piccanti, ghiandole secernenti un'alcaloide fenilalchilaminico, la capsaicina, responsabile della piccantezza della bacca.



Fig 1.1 *C. annuum* particolari di a, pianta b, fiore c, frutto

A livello nutrizionale il peperone è una fonte di sali minerali quali il potassio, calcio, fosforo e di vitamine A, B, C e PP (Siviero e Gallerani, 1993).

Tab. 1.2 Costituenti per 100 gr di prodotto, INRAN, 2008

Costituenti 100gr di prodotto	Peperone dolce	Peperone piccante
Acqua (g)	92,3	87,8
Proteine (g)	0,9	1,8
Lipidi (g)	0,3	0,5
Glucidi (g)		
-disponibili	4,2	3,8
-amidi	0	2,1
-solubili	4,2	1,5
Fibra (g)	1	2
Calorie (Kcal)	22	25
Sali minerali (mg)		
-potassio	184	184
-sodio	26	26
-ferro	0,7	0,5
-calcio	17	18
-fosforo	33	18
Vitamine (mg)		
-tiamina (B1)	0,05	0,05
-riboflavina (B2)	0,07	0,23
-niacina (PP)	0,5	3
-A	139	824
-C	151	229

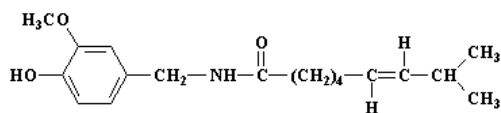


Fig 1.2 Struttura chimica della capsaicina

Per quanto riguarda le esigenze pedologiche il peperone necessita di un terreno a medio impasto, strutturato, fertile, ricco in sostanza organica e sali solubili con pH leggermente acido (5.5-6.5) e altamente drenante poiché la pianta teme molto i ristagni idrici. Quindi generalmente è necessaria una tessitura sciolta (sabbioso, sabbioso-limoso), franca (franco-sabbioso, franco, franco-sabbioso-argilloso) (Disciplinare di Agricoltura della Regione

Campania, 2013), con drenaggio rapido e falda ad almeno un metro di profondità ed il terreno deve poter essere esplorato dalle radici per almeno i primi 60 cm. Per garantire la fertilità del terreno esso è solitamente trattato con letame ben maturo con dosi di circa 50t/ha oppure liquame bovino (50-70 m³/ha) o pollina pellettata (1,5 e 2 tonnellate per ettaro) o altro concime organico. Inoltre la salinità non deve superare i 2 dS/m di conducibilità per non incidere sulla produttività della pianta (Disciplinare di Agricoltura della Regione Campania, 2013). Una volta effettuati lavori di rifinitura del terreno e prima del trapianto, si procede ad una distribuzione superficiale di concimi chimici. Il terreno poi deve essere successivamente sanificato per evitare il rischio di fitopatie.

Oltre al *C. annuum* le altre specie più coltivate (Rajput e Parulekar, 1998) sono:

- *C. baccatum*. L., originario dell'area compresa tra Perù e Bolivia, si adatta bene alle nostre condizioni climatiche, presenta il fiore con corolla bianca punteggiata di giallo, antere gialle, peduncoli lunghi portanti frutti eretti o penduli, di solito piccanti.
- *C. chinense* è originario dell'Amazzonia; ha fiori bianchi o bianco-verdastri, con calice dentato, antere blu e frequentemente si trovano due o più fiori per nodo. A questa specie appartengono varietà molto piccanti i cui frutti si caratterizzano per una tipica costrizione anulare nel punto di giunzione tra calice e peduncolo.
- *C. frutescens* Will., è originario dell'Amazzonia ed è diffuso per la produzione di salsa piccante tipo "tabasco". I fiori sono verdastri con calice non dentato ed antere blu-violacee; generalmente è presente un fiore per nodo e solo in alcuni casi si trovano due o più fiori per nodo.
- *C. pubescens* Ruiz. e Pav., coltivato sulle Ande, è il più tollerante al freddo. Le piante sono semi-legnose e in alcuni casi perenni, con portamento prostrato e presentano una notevole variabilità morfologica. Le foglie sono pubescenti, di colore verde scuro, mentre i fiori si caratterizzano per avere la corolla bluastra o purpurea con nettari incolori o giallognoli. L'allegagione è fortemente condizionata dalla notevole esilità dei filamenti staminali e dal fotoperiodo. Le bacche, ricche di ghiandole che secernono la capsaicina, contengono semi grinzosi, di dimensioni maggiori rispetto alle altre specie di *Capsicum*, di colore purpureo, quasi nero.

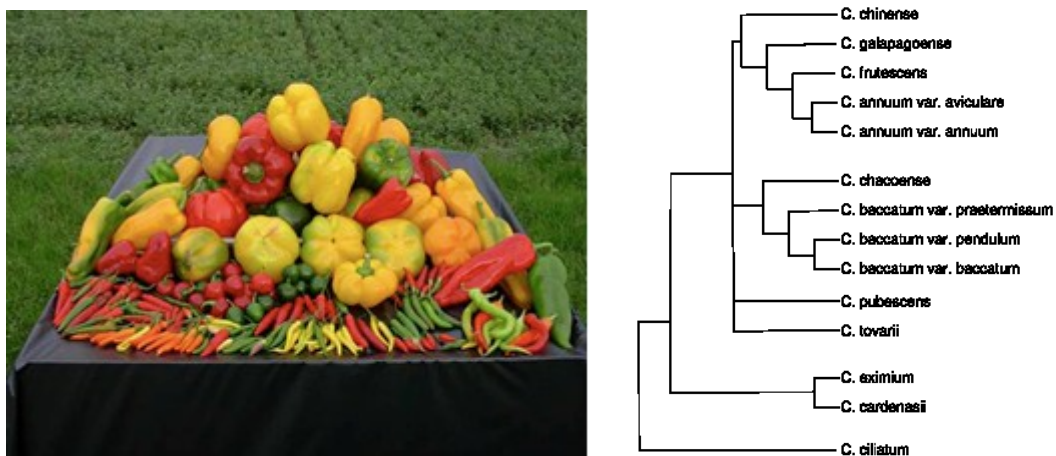


Fig. 1.3 a sinistra, variabilità di forma e colore del peperone, a destra, dendrogramma del genere *Capsicum* (Walsh e Hoot, 2001)

1.2. Le principali avversità biotiche e abiotiche

Il peperone, che è una pianta di origine tropicale, ha però saputo ben adattarsi ai diversi climi nel mondo pur avendo come optimum temperature diurne comprese tra 24 °C e 26 °C e notturne di 14-18 °C. Al di sotto dei 15 °C l'attività vegetativa è ridotta e se le temperature scendono sotto i 4 °C la pianta muore essendo sensibile al freddo (Caruso *et al.*, 1990). Inoltre le basse temperature durante la fioritura inducono la partenocarpia con formazione di frutti piccoli, deformati e con pochissimi o addirittura nessun seme. Quindi per una regolare fioritura e successiva allegagione occorrono temperature diurne comprese tra i 26 °C ed i 30 °C, mentre temperature superiori (35 °C) portano ad una cascola fiorale e dei frutti. I limiti imposti alla coltivazione del peperone vanno ricercati nella grande sensibilità che la specie manifesta nei confronti dei problemi fitosanitari poiché esso è soggetto ad avversità di tipo abiotico e biotico (Conn *et al.*, 2006). Tra le più importanti fitopatie dovute a danni di tipo abiotico si possono menzionare le scottature della bacca, dove l'inadeguata copertura fogliare espone il frutto ai raggi diretti del sole provocandone un'ustione che dapprima appare traslucida e biancastra per poi essiccarsi fino a formare un'area di consistenza simile alla carta che può essere colonizzata poi da funghi saprofiti. Il marciume apicale della bacca è dato invece dallo stress per l'alternanza di terreno bagnato e asciutto che porta ad una deficienza di ioni calcio nella bacca provocandone una marcescenza della parte terminale la quale assume poi una consistenza molle che può

essere successivamente colonizzata da funghi saprofiti. La macchiatura della bacca è anch'essa provocata da uno squilibrio del calcio e provoca una macchiatura sulla superficie del frutto che vira da un colore verde scuro fino al nero e alla successiva marcescenza della parte interessata. Dosaggi errati di trattamenti chimici possono creare danni sulle foglie e sulla bacca. I sintomi possono essere molteplici e possono manifestarsi su tutte le parti della pianta e ad ogni stadio fenologico della stessa. In ultimo i disordini fenologici di crescita possono essere causati dalla deficienza o dall'eccesso di micro e macro elementi e portano ad una crescita alterata della pianta.

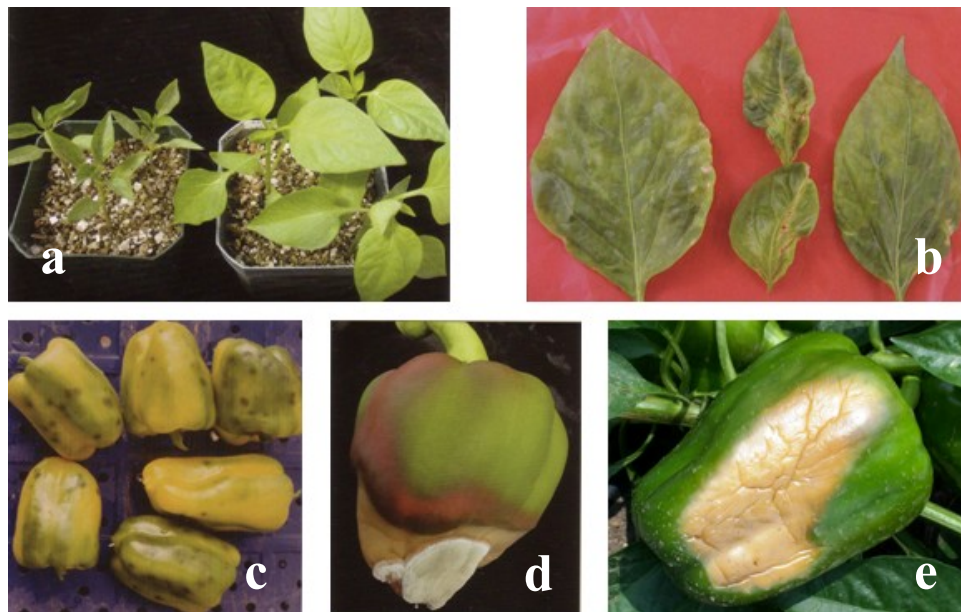


Fig 1.4 Fitopatie abiotiche su piante, foglie e frutti di *C. annuum* a, disordini fenologici b, danni chimici sulle foglie c, macchiatura d, marciume apicale e, scottatura

Per quanto riguarda invece le fitopatie biotiche il peperone è suscettibile all'attacco di funghi, batteri, nematodi, virus e fitofagi. Tra le fitopatie di origine crittogamica esistono la cancrena pedale il cui agente patogeno è l'oomicete *Phytophthora capsici* L. che dà luogo a profonde alterazioni solitamente nell'apparato radicale e nella zona del colletto che si ripercuotono su tutta la parte aerea la quale può rapidamente disseccare. Il mal bianco delle Solanacee è invece causato dal fungo *Leveillula taurica* Arnaud e tale infezione oidica si manifesta sotto forma di un micelio biancastro farinoso. Il micelio attacca prima le foglie più vecchie e poi quelle più giovani che sviluppano un'evidente clorosi fino alla cascola totale. Il micelio è diffuso prevalentemente sulla pagina inferiore delle foglie, che

provoca una filloptosi con conseguente deperimento della pianta. Lo sviluppo dell'infezione è favorito da un'alternarsi di temperature miti e fredde con una moderata umidità relativa. Le tracheomicosi sono provocate da diversi funghi appartenenti ai generi *Verticillium spp.* e *Fusarium spp.* e in questo caso vengono colpiti gli elementi vasali della pianta provocando avvizzimenti parziali o totali della stessa. La botrite (*Botrytis cinerea*) può colpire tutte le parti aeree della pianta. Se l'infezione interessa i fiori, quest'ultimi cadono, se interessa le branche quest'ultime sviluppano una necrosi molle e marcescente che può interessare tutta la branca e portare all'appassimento della parte aerea soprastante. Sulle foglie invece compaiono necrosi localizzate lungo il margine mentre gli attacchi sul frutto sono più gravi e si manifestano con estesi marciumi molli che in ultimo porteranno allo sviluppo di un micelio sporulante di colore grigio cenere. Lo sviluppo della malattia è favorito sulle bacche a calice infossato, che, accumulando acqua nella zona di inserzione del peduncolo, risultano maggiormente predisposte all'infezione.



Fig 1.5 Fitopatie biotiche su piante e foglie di *C. annuum* a, *P. capsici* b, *B. cinerea* c, *F. solani* d, *L. taurica*

Per quanto riguarda le malattie batteriche, i batteri *Xanthomonas campestris* pv *vesicatoria* e *Xanthomonas vesicatoria* causano comunemente annerimenti e lesioni dislocate su tutti gli organi della pianta con conseguente perdita del prodotto. Il batterio *Erwinia carotovora* provoca invece una marcescenza localizzata sul punto d'infezione che si può estendere all'intero frutto o al fusto mentre il batterio *Pseudomonas syringae* pv. *syringae* crea delle lesioni fogliari irregolari marcescenti che possono coalescere a formare un'area necrotica più grande.

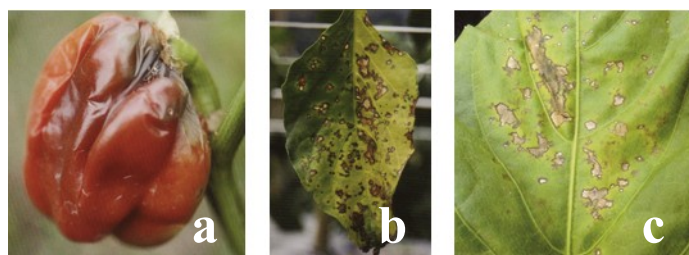


Fig 1.6 Fitopatie biotiche su frutto e foglie di *C. annuum* a, *E. carotovora* b, *X. campestris* pv *vesicatoria* c, *P. syringae* pv *syringae*

Altri patogeni del terreno sono invece i nematodi, spesso presenti in terreni sabbiosi, che inducono a livello radicale la formazione di galle sull'apparato radicale e conseguente blocco dell'assorbimento idrico con ridotto accrescimento della pianta. Tra i più comuni nematodi presenti negli areali di produzione si ricordano il *Meloidogyne incognita* Chitwood, *M. hapla* Chitwood, *M. javanica* Chitwood e *M. arenaria* Chitwood.

Passando invece alle malattie virali, *Capsicum* spp può essere colpito dal virus TSW (Tomato Spotted Wilt Virus) un tospovirus la cui sintomatologia prevede un iniziale decolorazione a macchie delle foglie apicali con successivo avvizzimento delle stesse. La maculatura clorotica si diffonde poi a tutta la pianta ed ai frutti con la totale perdita del prodotto. Il vettore è la *Frankliniella occidentalis*, un tripide appartenente all'ordine dei *Tysanoptera* che possiede un apparato boccale pungente succhiatore ed è caratterizzato da un elevato numero di generazioni per anno che fanno di questa specie un eccezionale fattore di trasmissione per tale virosi. Il virus CMV (Cucumber Mosaic Virus) della famiglia delle *Bromoviridae* presenta una sintomatologia più variegata che può portare ad un fogliame completamente distorto, una macchiatura a "foglia di quercia" lungo la venatura centrale della foglia, frutti distorti e conseguente grave perdita di prodotto. Il virus è veicolato da molteplici specie di afidi. Il PVY (Potato Virus Y), anch'esso veicolato da afidi, ha sintomatologia che interessa maggiormente l'apparato fogliare donandogli un'aspetto screziato, distorto e necrotico. I frutti possono essere interessati da fenomeni di decolorazione, distorsione e taglia ridotta. Il ToMV, (Tomato Mosaic Virus) e diverse razze di Tobamo virus presentano invece sintomi che possono dipendere dalle condizioni ambientali esterne e generalmente portano a distorsione fogliare, clorosi a mosaico, necrosi sistemica e defoliazione. Anche i frutti sono attaccati dall'infezione e si presentano più piccoli del normale, macchiati e rugosi. Il virus si trasmette per via meccanica e non si conoscono attualmente insetti vettori. È importante quindi mantenere

degli standard fitosanitari elevati per prevenire la diffusione di tale infezione specialmente nei vivai che attuano la pratica dell'innesto.

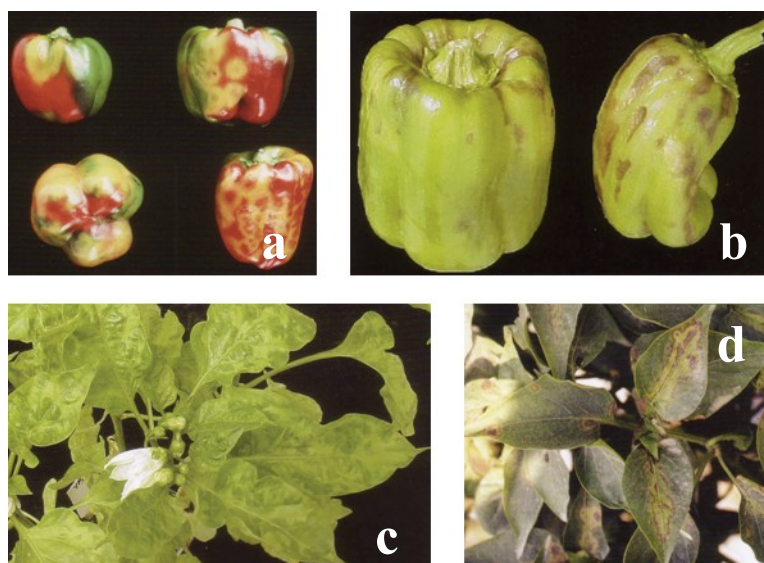


Fig 1.7 Fitopatie biotiche su frutti e foglie di *C. annuum*
a, TSWv b, Tobamovirus c, PVY-p0 d, PVY

In ultimo, ma non per importanza agronomica, *Capsicum* può essere attaccato dalla piralide (*Ostrinia nubilalis*) quando l'insetto adulto ovidepone in prossimità del calice o del peduncolo del frutto allegato. Successivamente le larve penetrano all'interno dello stesso nutrendosi dei tessuti placentari e della polpa del frutto. La larva provoca un grave danno alla bacca che risulta suscettibile ad attacchi secondari da parte di funghi o batteri determinanti la marcescenza. Anche insetti nottuidi come la *Mamestra brassicae*, *Autographa gamma*, *Heliothis armigera*, *Agrotis ipsilon* e *Agrotis segetum* depositando le loro uova sulla parte laterale-terminale del frutto provocano grandi danni alla coltura. Gli elateridi (*Agriotes obscurus*, *A. spuntator*, *A. brevis*, *A. lineatus*), coleotteri che vivono allo stato larvale nel terreno attaccano invece le piantine a livello del colletto, subito dopo il trapianto. Gli afidi (*Myzus persicae*, *Macrosiphum euphorbiae* e *Aphis gossypii*) e tripidi (*Frankliniella occidentalis*) sono particolarmente dannosi sia per danni diretti al frutto e alle foglie, sia per veicolazione di virus così come nel caso di attacco da parte di aleurodidi (*Trialeurodes vaporariorum* e *Bemisia tabaci*), aleurodidi minatori (*Liriomyza brionie*) e da acari quali il ragno rosso (*Tetranychus urticae*) e bianco (*Polyphagotarsonemus latus*).

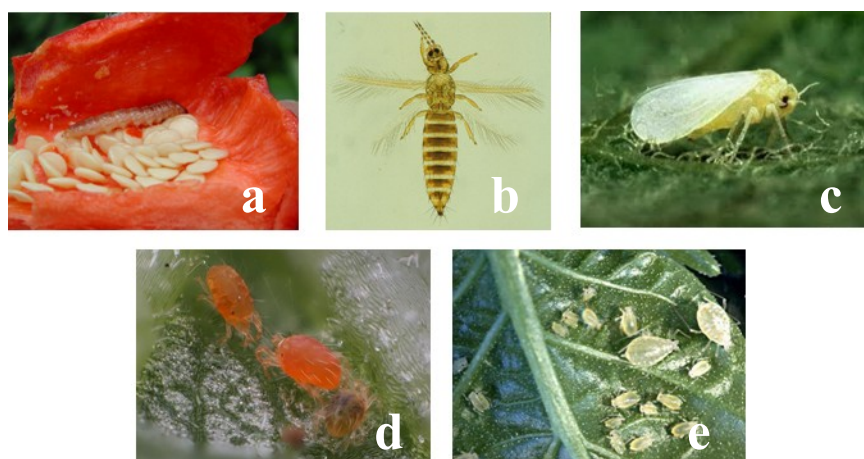


Fig 1.8 Fitofagi su frutti e foglie di *C. annuum* a, *O. nubilialis* b, *F. occidentalis* c, *T. vaporariorum* d, *T. urticae* e, *M. persicae*

1.3 Le patologie oggetto del lavoro di dottorato: la cancrena pedale e le galle radicali

Capitolo a parte meritano gli agenti eziologici che maggiormente hanno interessato il lavoro di dottorato: il fungo *P. capsici* e il nematode *M. incognita*.

Queste due patologie sono ampiamente diffuse in tutto il mondo ed attualmente si stanno rivelando le maggiori problematiche terricole nella coltura del peperone. Molte aziende infatti, lamentano da tempo una impossibilità di coltivazione senza l'ausilio di pratiche agricole di disinfezione e solarizzazione, pratiche di lotta biologica, rotazione colturale e, soprattutto, l'utilizzo di composti anticrittogamici e nematocidi. La *Phytophthora spp.* appartiene alla famiglia *Pythiaceae*, ordine *Peronosporales*, classe *Oomycetes*, *Phylum Heterokontophyta*. E' un patogeno fungino presente in tutto il mondo. Il suo nome significa mangiatrice di piante ed infatti ha un ampio spettro di attacco che va dal pomodoro, zucchino, zucca, cetrioli, melone, cocomero, cocco, macadamia fino ad arrivare al peperone (Black *et al.*, 1991, Biles *et al.*, 1995, Ristaino e Johnson 1999, Holmes *et al.*, 2001). Tutti gli stadi fenologici della pianta possono essere attaccati, da quello giovanile a quello adulto inclusa la fruttificazione. Il micelio del fungo *P. capsici* produce all'interno del terreno sporangiofori ramificati che producono alle estremità sporangi di forma simile ad un limone. Gli sporangi si ingrossano e possono, con umidità al di sopra del 90% e ad una temperatura compresa tra i 12°C e 15°C germinare rilasciando da tre ad otto zoospore. L'oomicete può inoltre riprodursi sessualmente ove però richiede due *mating type* diversi e

le oospore formatesi possono comunque sopravvivere nel terreno e nell'ambiente per addirittura 3-4 anni. La germinazione delle spore può formare o uno sporangio, o direttamente un micelio che s'insedia nell'ospite passando attraverso le aperture stomatiche, lenticelle, o attraverso ferite a livello pedale della pianta usando strutture appressorie ed austorie. La *P. capsici* nel terreno può attaccare le radici ed il colletto della pianta ospite creando una zona di cancrena che porta alla marcescenza e alla morte dei tessuti ma può anche raggiungere le parti aeree della pianta, come foglie e rami, produrre sporangi che emergono dalle pagine fogliari inferiori e produrre sporangiofori che, uscendo dagli stomi, liberano altre spore. Queste spore possono essere trasportate facilmente dal vento e dalle piogge alle piante limitrofe espandendo l'infezione. La sintomatologia è un evidente appassimento della pianta colpita. I tessuti attaccati appaiono dapprima molli e ricchi d'acqua per poi diventare di una colorazione nera brunastra. L'infezione prosegue portando alla marcescenza dei tessuti attaccati e la diffusione dell'infezione alle altre parti della pianta (frutti compresi) (Black *et al.*, 1991, Biles *et al.*, 1995, Oekle *et al.*, 2003) fino alla morte della stessa. Gli attacchi da *P. capsici* portano a gravi perdite per gli agricoltori poiché l'infezione, se non controllata, si sviluppa molto rapidamente uccidendo le piante attaccate poichè le continue innaffiature e concimazioni per sostenere lo sviluppo della coltura, il ristagno idrico, le temperature medio-alte e l'alta umidità all'interno delle serre o nei terreni in pieno campo favoriscono lo sviluppo di questo patogeno (Black *et al.*, 1991, Biles *et al.*, 1995, Lefebvre e Palloix, 1996). Per contenere il diffondersi del patogeno è necessario preparare, per la coltivazione di specie orticole, un terreno che sia drenante e ridurre al minimo la possibilità di ristagni idrici. E' necessario inoltre attuare delle strategie preventive come la rimozione tempestiva delle piante malate, evitare le innaffiature per aspersione e quelle che bagnano troppo il terreno. Per la lotta chimica sono utilizzati principi attivi sistemici fenilamidici come il metalaxyl, metalaxyl-m, principi attivi a base di etilen-tio-urea come il mancozeb, cymoxanil. I principi attivi devono però essere alternati o miscelati per ottenere un attacco *multi-site* poiché il patogeno è capace di resistere velocemente ai pesticidi. Inoltre è emerso che sul peperone tali pesticidi non portano a risultati definitivi (Mozzetti *et al.*, 1995, Oelke *et al.*, 2003) ed anche la lotta biologica si è rivelata un insuccesso (Oelke *et al.*, 2003). Con la mancanza di misure di controllo efficaci, sia chimiche che biologiche, sempre più programmi di ricerca si stanno focalizzando sulle resistenze genetiche alla *P. capsici* trovate nel *C. annuum* CM334 "Criollo de Morelos" e nell'accessione Americana PI201234 dimostrate molto efficaci (Ortega *et al.*, 1991, Walker e Bosland 1999, Pflieger

et al., 2001, Oelke *et al.*, 2003, Thabuis *et al.*, 2004) ma comunque al momento nessun programma di breeding è riuscito ad ottenere una varietà ibrida commerciale altamente resistente a *P. capsici*. Inoltre non esiste al momento una conoscenza totale dei geni che regolano la resistenza alla *P. capsici*. Infatti, alcuni studi dimostrano l'esistenza di un solo gene di resistenza, altri studi invece di più geni in correlazione tra loro ed altri ancora evidenziano un effetto epistatico (Smith *et al.*, 1967, Bartual *et al.*, 1991, 1994, Ortega *et al.*, 1991, 1992, Kim *et al.*, 1989, Palloix *et al.*, 1988, 1990, Walker and Bosland 1999). Comunque, c'è una forte indicazione che la resistenza alla *P. capsici* sia poligenica (Lefebvre and Palloix 1996, Thabius *et al.*, 2003) e con le ultime analisi QTL sul peperone, sono state identificate le sei regioni cromosomali designate alla risposta di resistenza denominate Phyto 4.1, Phyto 5.1, Phyto 5.2, Phyto 6.1, Phyto 11.1 e Phyto 12.1 localizzate rispettivamente nei cromosomi 4, 5, 6, 11 e 12 (Pflieger *et al.*, 2001, Lefebvre *et al.*, 2002, Thabuis *et al.*, 2003). Nel miglioramento genetico del peperone è stato notato che la resistenza intermedia a *P. capsici* si ottiene facilmente nelle popolazioni segreganti, mentre per ottenere una resistenza paragonabile a quella della *source* (CM334, PI201234) è necessario attuare diversi cicli di back-cross (Thabuis *et al.*, 2004).

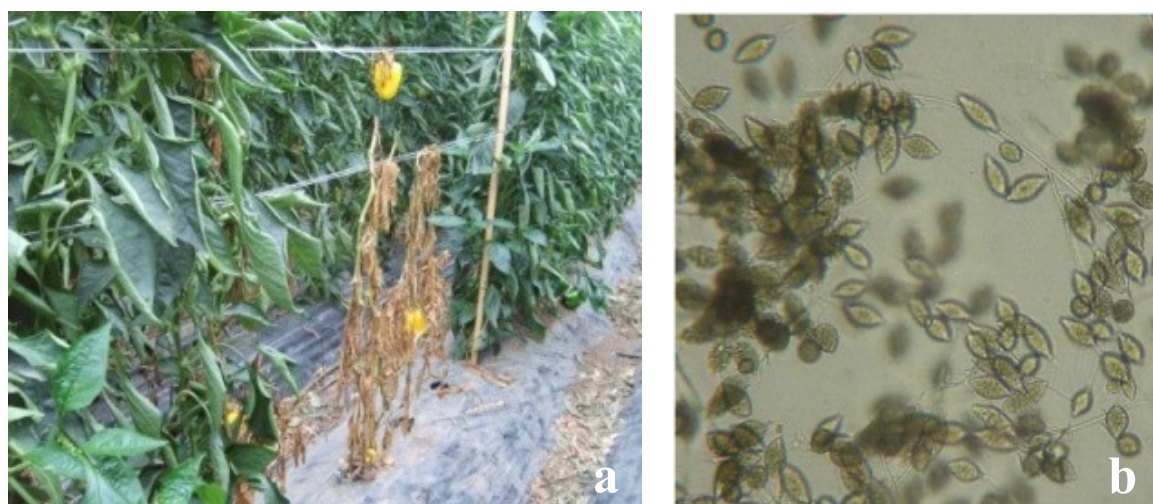


Fig 1.9 a, pianta di peperone affetta da *P. capsici* b, sporangi di *P. capsici*

Il nematode galligeno, anch'esso distribuito in tutto il mondo attacca diverse colture sia monocotiledoni sia dicotiledoni e nel gruppo delle solanacee specialmente il pomodoro, la patata ed il peperone (Khan *et al.*, 1991, Sasser, 1977). Esistono quattro importanti specie di nematodi e sono: *M. incognita* Chitwood, *M. hapla* Chitwood, *M. javanica* Chitwood ed *M. arenaria* Chitwood. Il ciclo vitale del nematode passa attraverso quattro stadi J1, J2, J3,

J4. Lo stadio J1 è rappresentato da quello ovocitario mentre lo stadio J2 è denominato giovanile, quando il nematode uscito dall'ovocita, s'insedia nella rizosfera della pianta ospite. In questo stadio, di breve durata, il nematode si nutre delle riserve lipidiche endogene (Eisenback *et al.*, 1991) mentre migra nella rizosfera cercando di penetrare nella radice dell'ospite. La penetrazione avviene tramite l'utilizzo dello stileto presente nel complesso apparato boccale del nematode. Muovendosi lungo la zona di elongazione della radice (Wyss *et al.*, 1992) migra nella stessa e diventa stanziale. Segnali chimici del nematode promuovono uno sviluppo multi-nucleato delle cellule del parenchima radicale (Hussey e Grundler, 1998) le quali andranno a formare poi le cellule giganti (Sijmons *et al.*, 1994). Raggiunto lo stato stanziale J3, i nematodi mutano tre o quattro volte raggiungendo lo stadio adulto J4. Gli esemplari femminili adulti, di forma sferoidale, possono in pochi mesi produrre centinaia di uova che depongono dentro una matrice gelatinosa per mantenere alta l'umidità relativa delle uova stesse (Maggenti e Allen, 1960). Le uova così deposte possono sopravvivere per diversi anni e possono resistere anche alle temperature rigide dell'inverno. Da queste numerose uova si svilupperanno nuovi nematodi, propagando ulteriormente l'infezione. La temperatura ottimale di sviluppo e riproduzione del nematode è di 29°C (Madulu e Trudgill, 1994; Trudgill, 1995). Le radici delle piante attaccate da questo endoparassita sedentario appaiono notevolmente deformate mostrando evidenti galle all'interno delle quali risiedono esemplari adulti e numerosi ovociti e la sintomatologia patologica si mostra non solo attraverso una struttura radicale deformata e galligena ma anche con l'appassimento fogliare, uno stadio fenologico più piccolo del normale ed una produttività drasticamente ridotta. La morte della pianta può sopraggiungere quando il parassita causa una notevole riduzione e disfunzione degli apparati vascolari e a livello agronomico-produttivo un'infezione di nematodi, in campo o in serra, può portare ad una notevole riduzione della resa in termini di quintalaggio di frutti e quindi ad una perdita in ricavo per l'agricoltore. Il problema della comparsa dei nematodi nel terreno è una conseguenza sempre più presente dovuta al fatto che sempre meno agricoltori ormai possono attuare la rotazione colturale, la solarizzazione, il trattamento di disinfezione al vapore, la sospensione della coltivazione. Quindi, per sostenere le continue coltivazioni sullo stesso terreno e magari con la stessa specie vegetale si è costretti ad intervenire chimicamente. La tecnica maggiormente usata dal 1941 fino al 2005 era la fumigazione con composti chimici nematocidi a base bromurata come il bromocloroetilene C_2H_4BrCl , clorobromopropene C_3H_4BrCl , metilbromuro CH_3Br (Villavecchia *et al.*, 1995). L'uso di questa pratica è fortemente aumentato negli ultimi anni essendo di facile

attuazione e relativamente a basso costo, ma dal 1 Gennaio 2005, dopo la stesura del protocollo di Montreal, è stato proibito l'uso di composti bromurati, sostituendoli con altri meno dannosi per l'ozono come la cloropicrina (CCl_3NO_2). Tali composti però anche se più sicuri, sono meno efficaci, più costosi ed hanno tempi di carenza più lunghi rispetto ai componenti bromurati. Queste caratteristiche sono, per l'economia dell'agricoltore, uno svantaggio che si tramuta in perdita di profitto. Dunque trovare una resistenza nel peperone che sia efficace nella difesa contro *Meloidogyne spp.* si sta rivelando un punto di notevole interesse per tutti i programmi di breeding su questa solanacea. Nel *C. annuum* la resistenza a questo patogeno è controllata da geni dominanti indipendenti: i geni Me. Le fonti primarie di resistenza sono state individuate all'interno di linee inbred provenienti dall'America centrale (PM217 inbred line derivata da PI 201234, Hendy *et al.*, 1985), dall'India (PM687 inbred line derivata da PI 322719, Hendy *et al.*, 1985), dal Messico (PM702 inbred line derivata da Criollo de Morelos 334, Djian-Caporalino *et al.*, 1999, 2001) e dalla California (YW, Yolo Wonder). I geni che donano la resistenza sono divisibili in due gruppi: specifici e ad ampio spettro. Nel gruppo ad ampio spettro ricade Me1 (presente in PM217), Me3 (presente in PM687), Me7 (presente in PM702), che conferiscono resistenza a *M. incognita*, *M. javanica* e *M. arenaria*. Nel gruppo di resistenza specifico troviamo Me4 (presente in PM687) che conferisce resistenza a *M. arenaria*, Me5 (presente in Yolo Wonder) che conferisce resistenza a *M. arenaria*, Mech2 (presente in PM217) che conferisce resistenza a *M. chitwoodi* IpoCk, Mech1 (presente in PM702) che conferisce resistenza a *M. chitwoodi* IpoCk. Attraverso lo studio della frequenza di ricombinazione e test di mappatura genetica quali Bulk Segregant Analysis (BSA) e Amplified Fragment Length Polymorphism (AFLP) è stato dimostrato che questi geni sono raggruppati in una regione genomica di 28 cM nel cromosoma P9 del peperone (Djian-Caporalino *et al.*, 2007). Tale assetto genico sembra essere colineare al cromosoma T12 del pomodoro e al cromosoma XII della patata suggerendo che questi geni di resistenza siano posizionati in regioni genomiche ortologhe delle solanacee. E' stato osservato che la resistenza a *Meloidogyne spp.* può variare con la temperatura. Nel pomodoro tale effetto è stato dimostrato e riconosciuto ampiamente da diversi studi effettuati negli anni sessanta (Dropkin, 1969, Holtzmann, 1965), così come è stato osservato lo stesso effetto di breakdown su cotone, alfaalfa, patata e fagiolo (Carter, 1982; Griffin, 1969; Jatala e Russell, 1972; Mullin *et al.*, 1991; Omwega *et al.*, 1990). Anche per il peperone è stata osservata una variabilità nella resistenza temperatura-dipendente. C'è da dire però che gli studi ottenuti non conducono ad un risultato univoco in quanto alcuni

riportano un breakdown della resistenza in condizioni di alta temperatura (28-32°C) (Thies e Fery, 1998), altri studi invece dimostrano che la resistenza non è inficiata dalle alte temperature (Di Vito *et al.*, 1995, Djian-Caporalino *et al.*, 1999).



Fig 1.10 a, radice di peperone affetta da *M. incognita* b, dettaglio dell'apparato boccale di *M. incognita*

1.4 Il miglioramento genetico del peperone

Il problema generato dalla progressiva abolizione dei composti chimici per la disinfezione del suolo e per il trattamento specifico delle piante, stimola fortemente la ricerca di resistenze genetiche che possano sopperire ai composti chimici di riferimento. Il trasferimento di caratteristiche utili nelle varietà di nuova costituzione è garantito dal miglioramento genetico, inteso come arte e scienza di cambiare, migliorandolo, l'assetto genetico di una pianta. L'obiettivo del miglioramento genetico nel peperone è l'ottenimento di nuove varietà commerciali con caratteristiche agronomiche adatte ai diversi areali di coltivazione, resistenti alle più importanti avversità di origine biotica ed abiotica ed in grado di produrre bacche di ottima qualità commerciale. In riferimento alle avversità di origine biotica l'attività di breeding si è incentrata nell'introduzione di nuove resistenze genetiche a virus, batteri, funghi e patogeni terricoli. Riportando alcuni esempi di introduzione di resistenza monogenica, quella ai Tobamo virus è iniziata con l'individuazione di accessioni di *Capsicum* resistenti e dopo aver individuato tale resistenza all'interno di accessioni di *C. chacoense* (Greenleeaf, 1986) ha permesso di ottenere varietà ibride resistenti a tutte le razze di Tobamo. Un altro esempio del lavoro di breeding sono le attuali cultivar dotate di resistenze monogeniche per il virus della patata PVYp0, PVYp1, PVYp1.2. Anche la resistenza monogenica al temibile Tomato spotted

wilt virus è stata introdotta nelle cultivar commerciali usando accessioni di *C. chinense*. Più complicato è invece il lavoro di breeding per le resistenze multigeniche come quelle al virus del mosaico del cetriolo (CMV) (Nono-Womdim *et al.* 1991) ed a patologie fungine come per esempio quelle alla *P. capsici* ed al *Verticillium dahliae* che necessitano di lunghi lavori di breeding ed un aiuto dalla biologia molecolare dei marcatori, essendo caratteri poligenici complessi (Palloix *et al.* 1990). Discorso diverso è invece la resistenza alla *Leveillula taurica* che sembra essere oligenica, quindi, di più facile introgressione in ibridi commerciali (Daubeze *et al.* 1995). Per i nematodi galligeni (*Meloidogyne spp*) attualmente sono disponibili varietà, come i portainnesti, resistenti alle più comuni specie di nematodi (*M. incognita*, *M. javanica*, *M. arenaria*, Di Vito *et al.*, 1993). Il miglioramento genetico vegetale però non si ferma alle sole resistenze biotiche ma ha come obiettivo anche le resistenze a stress abiotici. Quindi vengono migliorate le caratteristiche fenomorfolologiche principali allo scopo di creare cultivar adatte ai differenti areali di coltivazione. Per esempio, per lo sviluppo di ibridi adatti alla coltivazione in pieno campo, il *breeder* andrà a selezionare linee parentali con caratteristiche di pianta salda e non prostrata, con fogliame coprente per evitare scottature alle bacche, con un'allegagione continua. Valutazione differente viene fatta per la selezione di ibridi adatti alla serra. In questo caso si andranno ad identificare piante erette, aperte, con una allegagione continua ed una maturazione scalare dei frutti. Per entrambi gli areali di coltivazione la selezione viene indirizzata univocamente alla qualità del frutto in termini di colore, lucentezza, grandezza della spalla, lunghezza, spessore della polpa, durezza del frutto e sua conservabilità nel tempo (*shelf-life*). Per ottenere quindi un miglioramento di tutte le qualità sopra elencate il *breeder* si può avvalere sia delle tecniche classiche di incrocio e selezione sia delle tecniche biotecnologiche più innovative (Lanteri, 2002). Le tecniche classiche prevedono la selezione per linea pura sfruttando la variabilità genetica della popolazione locale, oppure l'incrocio (metodo pedigree, incrocio interspecifico, reincrocio) che consente di aumentare la variabilità genetica per il successivo sviluppo di parentali più performanti. Il metodo pedigree rappresentato in figura 1.11 si basa dapprima su selezioni individuali in popolazioni F2 e poi su selezioni all'interno di famiglie per arrivare dopo successive valutazioni agronomiche e selezioni ed autofecondazioni a linee *inbreed* omozigoti. Tali linee possono essere poi utilizzate in un programma di incroci per la creazione di nuove varietà. La tecnica del reincrocio consente il trasferimento di caratteri di interesse tra una linea detta donatrice ad un'altra definita ricevente. La progenie ottenuta è successivamente reincrociata per il genitore ricorrente un numero di volte

variabile in base alla distanza genetica dei parentali e alla base genetica del carattere che si vuole trasferire.

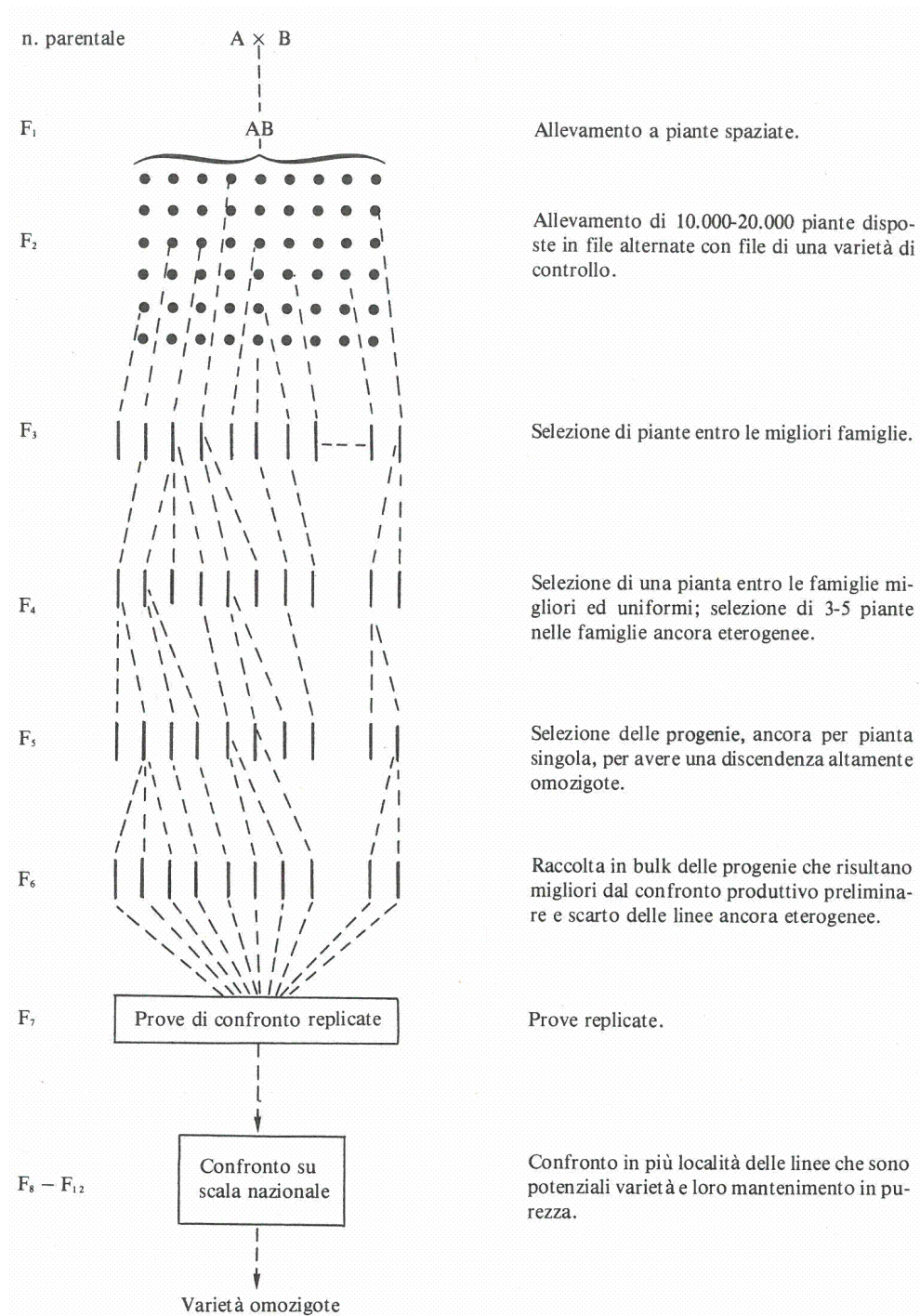


Fig 1.11 Esempio del metodo pedigree (Scarascia Mugnozza, 1992)

L'ibridazione interspecifica invece permette di aumentare la variabilità esistente introgrendo geni da specie diverse in una linea di interesse. La compatibilità interspecifica in alcuni casi è elevata (es. *C. annuum* × *C. chinense*), ma in molti altri casi

(Fig. 1.12) si ha produzione di seme non sempre fertile oppure è addirittura impossibile l'incrocio stesso.

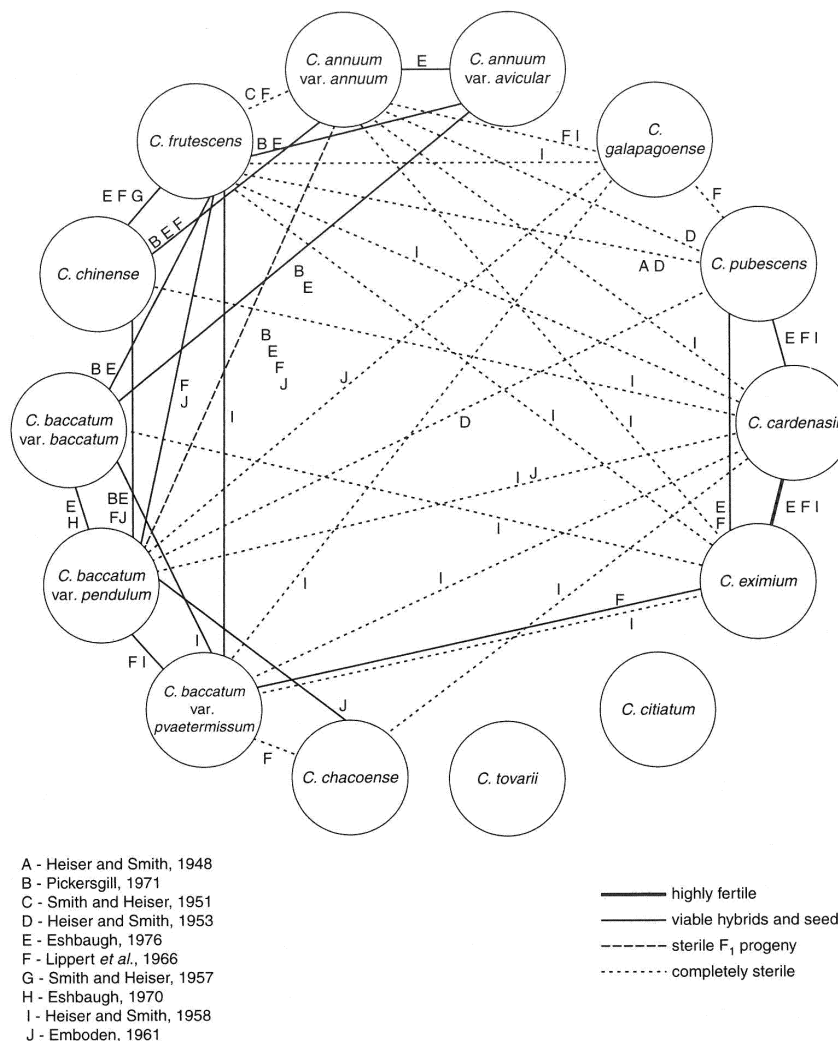


Fig 1.12 Sommario della compatibilità interspecifica nel genere *Capsicum* (Walsh e Hoot, 2001)

La metodologia classica per l'incrocio nel peperone, come mostrato nella figura 1.13, avviene tramite la castrazione manuale (demasculazione) e successiva impollinazione della pianta porta seme. Nell'intento della riduzione delle attività manuali con l'ausilio del miglioramento genetico, si stanno ricercando varietà maschiosterili. Un ulteriore aiuto è dato dalle tecniche biotecnologiche quali: la mutagenesi indotta con mezzi chimico-fisici o attraverso le colture in vitro, la transgenesi, la micropropagazione e la produzione di piante aploidi. Queste tecniche contribuiscono alla individuazione di genotipi con caratteristiche genetiche e quindi fenotipiche non ottenibili con il convenzionale miglioramento genetico.

Un ulteriore aiuto è fornito dal continuo sviluppo di marcatori molecolari associati al carattere di interesse che consentono la selezione degli individui portatori di tale carattere. Nel processo selettivo le analisi con i marcatori molecolari vengono eseguite sia sui soli semi o sulle plantule dei genotipi in analisi, permettendo così un considerevole risparmio di spazio, tempo e denaro. Ciò comporta una notevole accelerazione dei processi di selezione.



Fig 1.13 Operazioni manuali di demasculazione ed impollinazione di un fiore di peperone

1.5 Il miglioramento genetico dei portainnesti e loro uso nelle specie ortive di maggiore interesse

Dopo l'abolizione nel 2005 del bromuro di metile, l'abolizione del 1,3-dicloropropene a febbraio 2009 ed il continuo bando dei trattamenti chimici sanitificanti del terreno, sempre di più si stanno cercando soluzioni alternative ai composti chimici. Attualmente, nelle zone di grossa produzione orticola come l'areale campano, siciliano e pugliese, l'attenzione si sta spostando verso un rimedio biologico al problema: l'innesto. La tecnica dell'innesto, già presente per gli alberi da frutto, nelle cucurbitacee e nell'ambito delle solanacee pomodoro e melanzana, si sta diffondendo negli ultimissimi anni anche in altre quali il peperone. Scopo della ricerca genetica è diventato quindi anche lo sviluppo di portainnesti ibridi come strumenti complementari ed integrativi a tutti gli altri mezzi di trattamento della coltura. I progetti di breeding si orientano quindi nella creazione di una varietà che assolva alle principali funzioni richieste dall'agricoltore:

- precocità, il nesto grazie alla spinta vegetativa fornita dal portainnesto entra in produzione precocemente rispetto alle varietà non innestate

- regolazione della vigoria del nesto, il portainnesto riesce a regolare il portamento della coltura aumentandone la vigoria e di conseguenza la produzione permettendo inoltre di allungare i cicli colturali
- adattamento alle condizioni climatiche, il portainnesto può fornire una migliore resistenza alle condizioni climatiche avverse quali la siccità, il freddo, il caldo eccessivo
- adattamento alle condizioni pedologiche, il portainnesto può reagire meglio a situazioni di alterato pH, salinità eccessiva del terreno
- adattamento alle condizioni biologiche, il portainnesto può fornire tolleranza o resistenza ai maggiori patogeni terricoli

D'altra parte però come ogni innovazione tecnologica, pur portando vantaggi oggettivi, anche questa presenta delle problematiche essenzialmente riconducibili a:

- prezzo delle piantine
- manodopera per le operazioni di innesto
- scarsa conoscenza del comportamento del nuovo individuo formato dal portainnesto e la varietà innestata

Tali problematiche però possono essere risolte pianificando una riduzione degli investimenti per i trattamenti chimici, ottenendo l'aumento delle rese grazie alla spinta di vigore che fornisce il portainnesto, allungando i cicli colturali ed infine, grazie all'esperienza acquisita riguardo l'uso dell'innesto, si potranno sfruttare al meglio le qualità di una pianta innestata.

1.6 Obiettivi della tesi

Il portainnesto, seppur ampiamente utilizzato nell'arboricoltura e nell'orticoltura mondiale, rimane ad oggi una novità nell'allevamento del peperone. Presso la Monsanto, da alcuni anni sono in corso attività finalizzate alla creazione e selezione di portainnesti resistenti alle più importanti fitopatie del terreno dell'areale italiano. Per questo tipo di attività si registra un'oggettiva mancanza di letteratura e la sperimentazione condotta durante questo dottorato è stata finalizzata alla dimostrazione che l'uso del portainnesto nella coltivazione del peperone permette di assolvere alle funzioni di resistenza, produttività e adattamento ambientale. Tutto il lavoro è stato incentrato nell'attuazione di un approccio sperimentale nuovo, olistico e a larga scala che ha permesso di valutare direttamente negli areali di produzione più importanti del centro Italia i tre fondamentali aspetti del portainnesto

precedentemente elencati. In particolare, gli obiettivi specifici possono essere schematizzati come segue:

- Validazione e conferma, con prove in aziende produttrici nell'areale campano e laziale, della resistenza a *P. capsici* e *M. incognita* di portainnesti ibridi presenti sul mercato e portainnesti ibridi in fase di sperimentazione;
- Valutazione dell'effetto dell'interazione tra il portainnesto ed il nesto sulla produzione sulla fenomorfologia del nesto e sulla qualità della bacca su terreni infetti e terreni vergini;
- Ampliamento della variabilità genetica e creazione di nuove popolazioni resistenti al patogeno emergente identificato nel *Fusarium solani*.

2. MATERIALI E METODI

2.1. Il materiale vegetale

In questa tesi sono stati utilizzati portainnesti ibridi F1 attualmente in commercio di diverse ditte sementiere e portainnesti ibridi F1 attualmente in fase sperimentale. Le varietà utilizzate come nesti nel corso delle prove sono state le seguenti: SV9687PH, HLG-0010 (Monsanto), Eppo, Peppone (Syngenta Vegetable Seeds) e Corrado (Southern Seeds) per la tipologia della bacca gialla e Almuden (Syngenta Vegetable Seeds), Lapillo, Scintilla (Monsanto) e San Marco (Clause) per la tipologia della bacca rossa.

Per la produzione di progenie da reincrocio BC1F1 e BC2F1 è stato usato il parentale FUS-1 resistente al *Fusarium solani*.

2.2. Metodi

Le prove, durante i tre anni di sperimentazione, sono state effettuate presso quattro differenti aziende agricole e in due differenti areali di produzione: quello laziale e quello campano. L'azienda laziale è sita in Fondi (LT). Il terreno su cui si sviluppano le serre è totalmente sabbioso con un livello medio-alto di azoto e sostanza organica. L'approvvigionamento irriguo è permesso da un pozzo interno all'azienda. Il problema fitosanitario maggiore per l'azienda è la presenza massiccia di *M. incognita* in quanto la produzione è incentrata sulle solanacee peperone, melanzana e pomodoro, ospiti naturali del nematode.

Le aziende agricole campane sono site in Battipaglia, una in località Giffoni-Vallepiana e due in località Pontecagnano (chiamate nel dettaglio delle prove Pontecagnano-1 e Pontecagnano-2). Il terreno è franco-argilloso in tutte e tre le aziende. L'approvvigionamento idrico della prima si avvale direttamente di un corso d'acqua attiguo al fondo con conclamata presenza di patogeni fungini, come da analisi effettuate presso il Dipartimento di Agraria dell'Università di Napoli Federico II, ed il fungo maggiormente presente nelle acque è la *P. capsici*. Per le altre due aziende di Pontecagnano l'approvvigionamento irriguo è permesso dalla presenza di pozzi interni alle stesse.

L'organizzazione delle prove nei tre anni ha seguito una linea generale di semina in dicembre, trapianto in febbraio dell'anno successivo e valutazione da giugno a settembre.

Lo schema presentato in tabella 2.1 sintetizza l'organizzazione delle prove nei due differenti areali di produzione del centro Italia.

Tab 2.1 Organizzazione delle prove nei tre anni di sperimentazione

Anno	Località	Portainnesti (<i>nesti</i>)	Terreno	Resistenze analizzate	Repliche	Valutazione agronomica
2011	Fondi	MON-1, MON-2, MON-3, MON-4, MON-5A, MON-5B, RST-1, RST-2, RST-3 (Corrado a Fondi, Peppone a Battipaglia)	sabbioso	<i>M. incognita</i>	4 rep da 10 p/parc	produttività
	Battipaglia Giffoni Vallepiana		franco/argilloso	<i>P. capsici</i> <i>M. incognita</i>	6 rep da 10 p/parc	produttività
2012	Fondi	MON-5A, MON-6, MON-7, MON-8, MON-9, MON-10, RST-3, RST-4 (Scintilla a Fondi, Scintilla a Pontecagnano1 SV9687PH a Giff. Vallepiana)	sabbioso	<i>M. incognita</i>	5 rep da 10 p/parc	produttività fenomorfologia
	Battipaglia Pontecagnano1		franco/argilloso	<i>Terreno disinfettato</i>	5 rep da 10 p/parc	fenomorfologia
	Battipaglia Giffoni Vallepiana			<i>P. capsici</i>	5 rep da 10 p/parc	-
	Battipaglia Pontecagnano2	MON-5A, MON-6, RST-3, RST-4 (Scintilla, Lapillo, San Marco, Almuden, Eppo, Peppone, SV9687PH, HLG-0010)		<i>Terreno disinfettato</i>	2 rep da 10 p/parc	affinità
2013	Fondi	MON-5A, MON-6, MON-9, MON-11, MON-12, MON-13, MON-14, MON-15, MON-16, MON-17, MON-18, RST-3, RST-4 (Scintilla a Fondi, Eppo a Battipaglia)	sabbioso	<i>Terreno disinfettato</i>	2 rep da 10 p/parc	produttività fenomorfologia
	Battipaglia Pontecagnano1		franco/argilloso	<i>Terreno disinfettato</i>	2 rep da 10 p/parc	produttività fenomorfologia

L'innesto "Japanese Top Grafting" è stata la tecnica usata per la produzione delle piante successivamente poste in serra per l'analisi sperimentale. Le operazioni sono state svolte manualmente e consistevano nel praticare un taglio netto a 45° appena sotto i cotiledoni del portainnesto ed un taglio netto a 45° nella zona basale del nesto, eliminandone quindi l'apparato radicale. Sul portainnesto tagliato è stata applicata una molletta da innesto ed un bastoncino di supporto. Il nesto è stato successivamente posizionato con cura all'interno della molletta facendo aderire bene le due parti controllando l'assenza di residui di alcun genere tra nesto e portainnesto.



Fig. 2.1 a sinistra, operazioni di innesto in vivaio, al centro, piantina di peperone innestata, a destra, contenitore in polistirolo con piantine di peperone innestate

La semina è stata effettuata in vivaio nella terza settimana di dicembre dell'anno antecedente a quello di prova. Per tutte le prove nei tre anni successivi (2011-2013) la semina è stata effettuata utilizzando dei contenitori alveolari da 104 fori composti da otto file da 13 fori. Il terriccio utilizzato è stato creato miscelando un 60% di torba universale arricchita con potassio, fosforo e microelementi e 40% di vermiculite. Un solo seme è stato posizionato all'interno di ogni singolo alveolo per poi essere coperto da uno strato di vermiculite. I contenitori sono stati poi collocati all'interno della stanza di pre-germinazione per 5 giorni a 28°C con 95% di umidità relativa. Successivamente i contenitori sono stati spostati in vivaio termo-condizionato con una temperatura minima dell'aria di 18°C e con il 60% di umidità relativa per favorire lo sviluppo completo della plantula. Il trapianto in serra è stato effettuato a mano dopo che la plantula aveva raggiunto uno stadio fenologico con 6 foglie vere. Il tempo intercorso tra la semina ed il trapianto è stato variabile dai 45 ai 60 giorni. Il trapianto è stato effettuato in serre non riscaldate con struttura portante in ferro zincato e copertura con film plastico PE/PVC e in tutte le aziende la densità di impianto utilizzata è stata di 2.5 piante al m² a fila semplice. La distanza tra le file è stata di 90 centimetri mentre la distanza delle piante è stata di 40 centimetri. Le piante sono state allevate con limitati interventi di potatura e soltanto con interventi di defogliazione e scacchiatura atte a favorire il rapporto tra vegetazione e fruttificazione. Il sistema di tutoraggio, attuato per evitare prostrazioni delle piante e rottura delle branche, è stato quello a spalliera e all'Olandese. Il primo sistema è stato utilizzato nell'azienda di Fondi e consiste nel fissare in terra dei pali in ferro ogni 5-10 metri, ai quali vengono tesi dei resistenti fili di nylon a varie altezze partendo da 10 cm dal suolo fino ad arrivare al metro e mezzo di altezza. Ad intervalli di circa due metri sono state poste strutture plastiche, dette stampelle, che aiutano a mantenere i fili solidali tra loro. Il secondo sistema, adottato nelle aziende di Battipaglia è un tutoraggio che permette l'allevamento delle piante per una durata di nove-dieci mesi. Si utilizza una rete plastica a maglie quadrate 10cm x 10cm che viene fissata in terra ed in alto con sistemi di tutoraggio metallici. Questa rete fornisce alla pianta un solido appoggio su cui crescere ben oltre il metro e mezzo. Per l'utilizzo di questo sistema sono necessari interventi di potatura e rimozione delle gemme ascellari (detta sfemminellatura) per mantenere il giusto rapporto tra apparato fogliare e numero di frutti allegati. In ambedue le aziende, a terra è stata disposta la pacciamatura con un film plastico nero ad alta resistenza utile sia per il controllo delle infestanti sia per proteggere l'apparato radicale della pianta dai freddi

dell'inverno e primaverili, in quanto i trapianti sono stati effettuati presso le aziende produttrici tra febbraio e marzo.



Fig. 2.2 a, allevamento a spalliera b, allevamento all'olandese

L'irrigazione all'interno delle serre è stata effettuata con manichetta ad ala gocciolante autocompensante con fori ogni 40 cm. I turni di irrigazione sono stati decisi in base allo stadio fenologico della pianta, alla struttura del terreno ed alle condizioni climatiche esterne. Per quanto riguarda la concimazione i valori medi che sono stati utilizzati per quintale di produzione sono i seguenti: 0,37 kg di N, 0,10 kg di P₂O₅ e 0,50 kg di K₂O. La valutazione fenomorfológica è stata effettuata analizzando i caratteri agronomici di pianta e frutto secondo la seguente tabella:

Tab. 2.2 Caratteri fenomorfológicos analizzati

Carattere	Scala	Descrizione
Architettura del nesto	Alfabetica	VO =molto aperta, O =aperta, M =media, C =coprente, HC =molto coprente
Vigore del nesto	Numerica	1-9 (1=nesto poco vigoroso, 9=nesto molto vigoroso)
Precocità del nesto	Numerica	1-9 (1=linea molto precoce, 9=linea tardiva)
Altezza del nesto	Centimetri	a 120 giorni dal trapianto in serra
Regolarità del frutto	Numerica	1-9 (1=poco regolare 9=perfetta regolarità)
Durezza del frutto	Numerica	1-9 (1=frutto soffice, 9=frutto molto duro)
Liscezza del frutto	Numerica	1-9 (1=rugoso, 9=liscio)
Larghezza del frutto al calice	Centimetri	all'altezza del calice del frutto
Lunghezza del frutto	Centimetri	dal calice all'apice del frutto

La raccolta dei frutti è avvenuta a completa maturazione fisiologica ed è stata effettuata manualmente in stacchi settimanali. I frutti raccolti sono stati posti in cassette previa suddivisione in categorie di prima, seconda e non commerciabile. Tale suddivisione è stata effettuata valutando l'uniformità di maturazione, il colore, l'assenza di affezioni biotiche e

abiotiche della bacca, valutandone poi la pezzatura e il rapporto tra lunghezza e larghezza. Successivamente è stata effettuata la pesatura dei frutti raccolti attraverso l'ausilio di bilance elettroniche.

2.3. Valutazione (in campo) dell'infezione nei portainnesti da *Meloidogyne incognita* e *Phytophthora capsici*

La valutazione dei portainnesti per la resistenza a *P. capsici* è stata effettuata direttamente in serra registrando la percentuale di piante non attaccate o morte a causa del fungo, per ogni singolo plot varietale. La valutazione dei portainnesti per la resistenza a *M. Incognita* è stata effettuata seguendo il protocollo Azura 2011, per l'assegnazione dell'indice di galle. Azura è un'azienda franco-marocchina che impiega circa 8000 persone impegnate nella produzione di pomodori, frutta ed erbe aromatiche da esportazione attraverso la coltivazione di una superficie di circa 900 ettari di suolo marocchino. Tale protocollo assegna il valore 0 alle radici con nessuna presenza di galle e 10 alle radici completamente attaccate prive ormai delle radici laterali e capillari. I valori intermedi sono stati assegnati in relazione alla presenza o meno delle galle sulle radici laterali e sul fittone centrale.

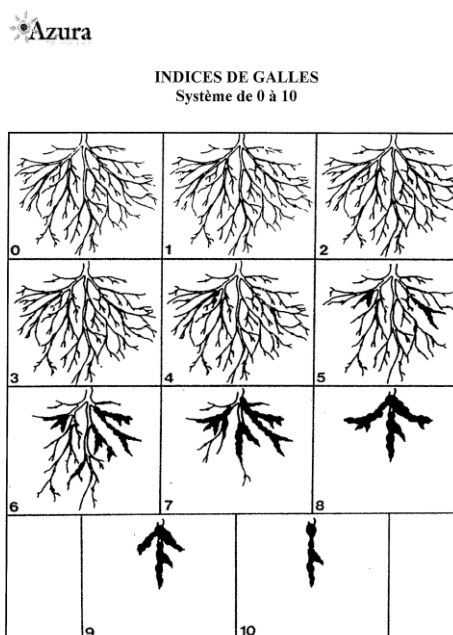


Fig. 2.3 protocollo Azura per la valutazione del grado di infezione da *M. incognita* sulle radici di *Capsicum*

2.4. L'analisi statistica dei dati ottenuti dalle prove sperimentali in campo

Per elaborare tutti i dati statistici ottenuti nelle prove è stata utilizzata come procedura l'analisi della varianza utilizzando il programma statistico JMP 10 della SAS Institute Inc. Nell'esempio in figura 2.4 è riportata la rappresentazione grafica della distribuzione delle medie. Sull'asse delle ascisse sono riportati i diversi fattori in esame mentre sull'asse delle ordinate è invece riportata la risposta dei fattori. Il grafico presenta, attraverso dei punti neri, la ripartizione delle misurazioni. La linea orizzontale nel grafico rappresenta la media delle medie delle risposte. Le figure verdi a forma di rombo rappresentano i diamanti delle medie. L'altezza del diamante rappresenta il 95% dell'intervallo di confidenza e dunque l'altezza stessa del diamante è proporzionale al reciproco della radice quadrata del numero di osservazioni nel gruppo. La larghezza del diamante è proporzionale alla grandezza del campione analizzato. La linea mediana all'interno di ciascun diamante rappresenta la media del campione. Le piccole linee orizzontali all'interno di ciascun diamante, rispettivamente nella parte alta e bassa dello stesso, rappresentano i segni di sovrapposizione e sono utili nel discriminare la differenza tra gruppi, infatti, quando queste linee di sovrapposizione di un gruppo sono in linea con la media di un altro gruppo ciò sta a indicare che non esiste differenza tra i gruppi al dato intervallo di confidenza. Le barre azzurre verticali all'interno di ciascun diamante indicano l'errore medio delle risposte e le piccole barre azzurre orizzontali definiscono la deviazione standard.

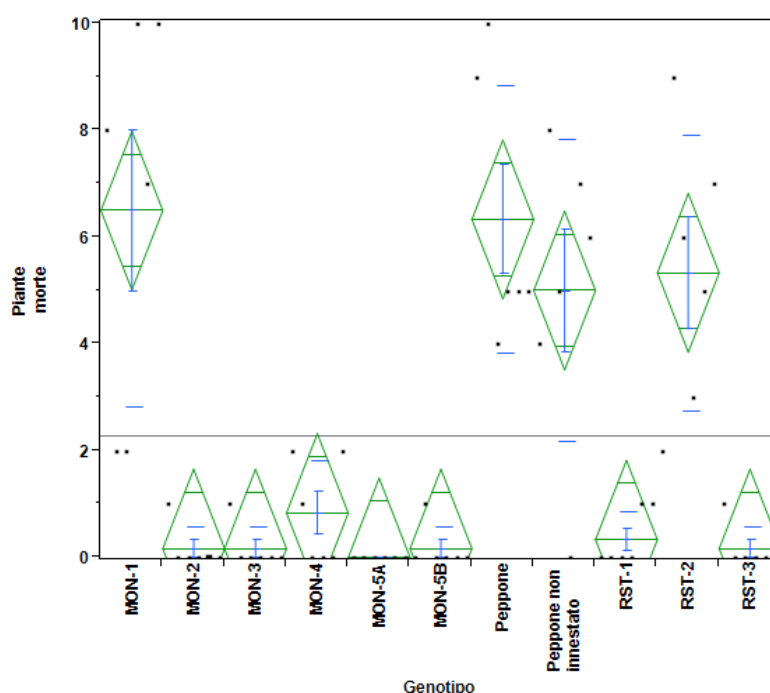


Fig. 2.4 Esempio della distribuzione delle medie delle risposte

2.5 Produzione e valutazione di progenie BC1F1 e BC2F2 resistenti a *Fusarium solani*

La linea selezionata per l'introduzione della resistenza nel portainnesto è stata denominata FUS-1; tale linea, resistente, era già disponibile presso la Monsanto e deriva da un lavoro di ricerca eseguito negli anni precedenti. La percentuale di resistenza si avvicina al 70% di piante sopravvissute ad inoculo diretto di *Fusarium* nel terreno. Il lavoro svolto in questa tesi è stato eseguito nel seguente modo: dopo i risultati preliminari ottenuti nelle prove di resistenza presso le aziende di Fondi e Battipaglia, durante l'autunno del 2011 sono stati incrociati gli ibridi MON-5A e MON-5B (parentale ricorrente) per la linea FUS-1 (parentale non ricorrente). Gli incroci sono stati eseguiti in serra termoriscaldata con copertura in film-plastico e finestre laterali munite di rete anti afidi onde evitare la presenza di insetti pronubi all'interno della stessa. Per il riconoscimento tutti i fiori incrociati sono stati muniti di cartellino ove era evidenziata la combinazione di incrocio. Dopo 90 giorni dall'impollinazione, a maturazione fisiologica, i frutti sono stati raccolti per combinazione di incrocio così da agevolare l'estrazione del seme. Lo stesso, posto in camera di asciugatura a 32°C per 24 ore per ridurre la percentuale di umidità al 25% cosicché da garantire la germinabilità per un periodo di 10 anni. Nel gennaio 2012 i semi delle due combinazioni F1 ottenute (MON-5AxFUS-1, identificata come F1-A e MON-5BxFUS-1, identificata come F1-B) sono stati seminati in contenitori alveolati da 104 fori in vivaio termocondizionato. Sono stati posti un contenitore per combinazione così da poter ottenere almeno 20 piante utili per F1. Dieci piante per F1-A e 10 per F1-B sono state trapiantate in serra insieme ad altre cinque piante dei parentali ricorrenti MON-5A e MON-5B. Nella prima settimana di maggio 2012, all'epoca della fioritura, sono stati effettuati tre incroci per singola pianta F1-A e F1-B con ogni singola pianta maschile di MON-5A e MON-5B (per garantire un numero di semi maggiore di 100 per ogni incrocio effettuato), ottenendo un numero stimato di 10 combinazioni di incrocio per parentale maschile. Sono state ottenute 20 popolazioni BC1F1, arbitrariamente indicate con BC1F1-(A1-10) e BC1F1-(B1-10). Quaranta semi di ogni popolazione BC1F1 sono stati seminati per ottenere 32 piante utili per popolazione per un totale generale di 640 piante saggiate per la resistenza a *Fusarium*. Per ogni popolazione testata, in ottobre 2012, sono state selezionate due piante resistenti che non hanno mostrato nessun sintomo di imbrunimento del capillizio e dei vasi interni xilematici. Esse sono state reincrociate per i rispettivi parentali ricorrenti MON-5A e MON-5B per l'ottenimento delle seguenti popolazioni

BC2F1-(A1-10) e BC2F1-(B1-10). Nel gennaio 2013 per ogni singola popolazione BC2F1 si è proceduto come nel 2012 e in ottobre 2013 sono state selezionate due piante resistenti che non hanno mostrato nessun sintomo di imbrunimento del capillizio e dei vasi interni xilematici. Le suddette piante sono state reincrociate per i rispettivi parentali ricorrenti MON-5A e MON-5B per l'ottenimento delle seguenti popolazioni BC3F1-(A1-10) e BC3F1-(B1-10). Tali piante sono state portate a seme nel gennaio 2014. Le popolazioni ottenute saranno destinate ad una prova di valutazione fenotipica comparando i fenotipi MON-5A e MON-5B con le rispettive popolazioni BC3F1.

Per effettuare la valutazione della resistenza a *F. solani*, data l'assenza di protocolli ufficiali, è stato adattato il protocollo UPOV per il *F. oxysporum* sul pomodoro. Il ceppo utilizzato è stato isolato in serra a Pontecorvo (FR) da piante affette da *F. solani* e accresciuto su capsule Petri con PDA al buio a 24°C. La preparazione dell'inoculo è stata effettuata attraverso la raccolta del micelio superficiale dalle capsule Petri e successivo lavaggio e doppia filtrazione. La soluzione è stata diluita a concentrazione sporale di 10^6 per ml. In questa soluzione sono state immerse per 10 minuti le plantule ad uno stadio fenologico di quattro foglie vere. Dopo 25 giorni di accrescimento delle plantule in serra termocondizionata a 25°C con fotoperiodo di 12h è stata valutata l'infezione. La valutazione è stata effettuata osservando eventuali avvizzimenti o clorosi della pianta e tagliando longitudinalmente il colletto valutando la presenza-assenza di lesioni e imbrunimenti della parte in esame. Le piante esenti da tali sintomi sono state definite resistenti mentre le piante con avvizzimenti, clorosi e colletto imbrunito sono state definite suscettibili.

3. RISULTATI

3.1. Le prove agronomiche in campo nell'anno 2011

Nell'anno 2011 sono state effettuate due prove sperimentali in due areali diversi di produzione: l'areale di Fondi e quello di Battipaglia.

3.1.1. La prova nell'areale di Fondi, la resistenza a *M. incognita*

L'ANOVA comprendente i risultati di tutti i genotipi analizzati sui quattro replicati in esame ha evidenziato una differenza statisticamente significativa per il grado d'infezione galligena radicale (Tab. 3.1).

La rappresentazione grafica delle medie delle risposte (Fig. 3.1), mostra che solo sei genotipi si posizionano al di sotto della media generale del grado d'infezione che ha il

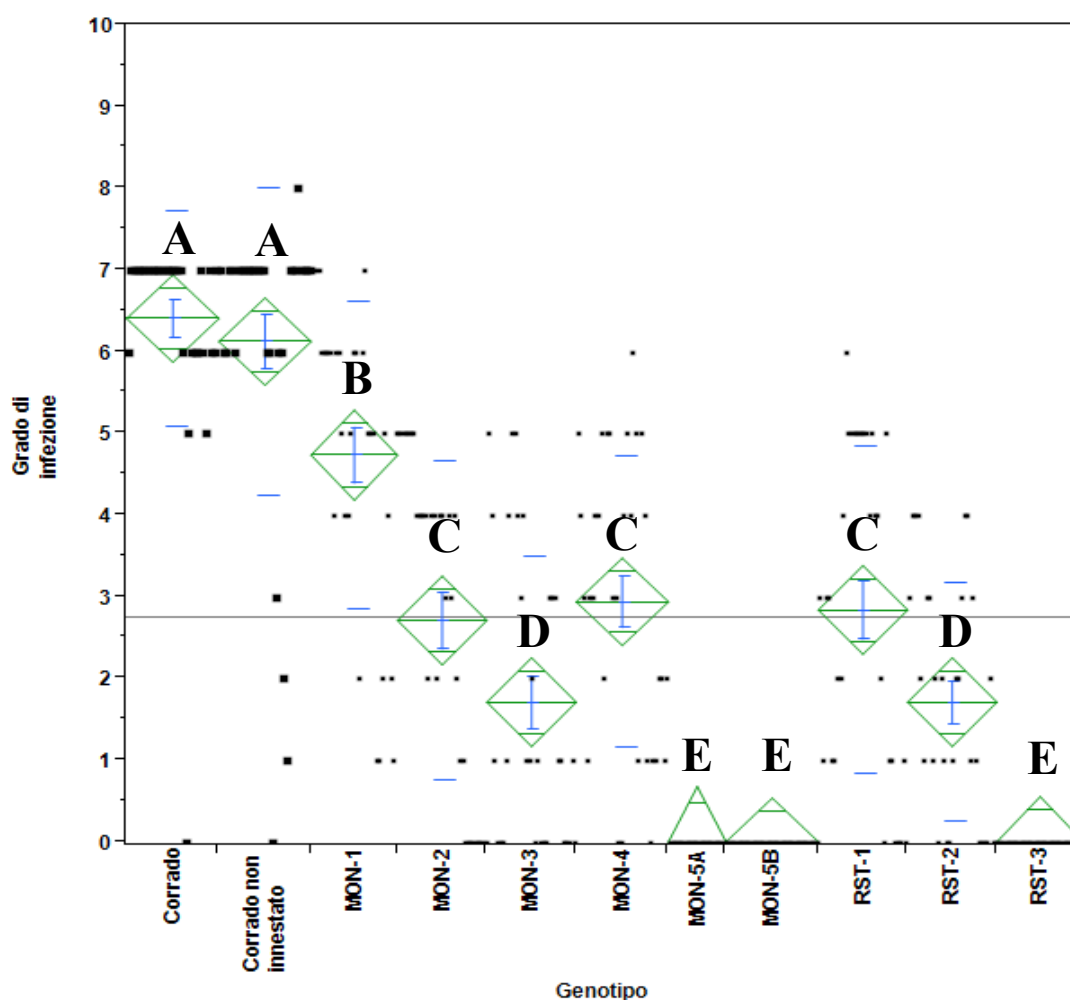


Fig. 3.1 Gradi d'infezione medi da *M. incognita* dei genotipi nei quattro replicati, i valori contrassegnati con lettere diverse sono statisticamente differenti per $p=0,05$ (Duncan test)

valore di 2,75. Al di sopra della media generale risiedono i genotipi di portainnesto MON-1 (4,73), MON-4 (2,93), RST-1 (2,83) e i genotipi di controllo Corrado e Corrado non innestato. Questi ultimi hanno ottenuto i gradi d'infezione più alti di tutta la prova, rispettivamente di 6,40 e 6,12. I portainnesti che hanno ottenuto il grado d'infezione più basso e quindi i più resistenti sono stati MON-5A, MON-5B, e RST-3, tutti e tre con grado d'infezione 0 in tutti i replicati. E' interessante notare come i genotipi si distribuiscano in gruppi separati (indicati dalle lettere), che solo i controlli di riferimento appartengano al gruppo A e che solo i portainnesti MON-5A, MON-5B e RST-3 vadano a formare un gruppo a parte (gruppo E) con la media del grado d'infezione più bassa. I dati in tabella 3.1 dimostrano l'elevata significatività delle differenze tra i portainnesti ($F=67,68$ $p<0,0001$). Il coefficiente di determinazione mostrato in tabella 3.2 indica che il modello statistico è in correlazione diretta e sufficientemente lineare.

Tab. 3.1 Analisi della varianza dei gradi d'infezione da *M. incognita* dei genotipi nei quattro replicati

Analisi della Varianza					
Origine	DF	Somma dei quadrati	Media quadratica	Rapporto F	Prob > F
Portainnesto	10	1598,923	159,892	67,6835	<,0001
Errore	321	758,3153	2,362		
C. Totale	331	2357,238			

Tab. 3.2 Analisi R quadro dei gradi d'infezione da *M. incognita* dei genotipi nei quattro replicati

R-quadro	0,678303
R-quadro corretto	0,668282
Scarto quadratico medio	1,536995
Media della risposta	2,756024
Osservazioni (o somma pesata)	332

Dal risultato dell'analisi della varianza delle risposte per i quattro replicati si evince che il dato statistico di effetto del replicato è significativo (Tab 3.3). La figura 3.2 seguente riporta il grado d'infezione medio registrato per ciascun replicato.

Il replicato uno presenta il più basso valore medio del grado d'infezione 1,79. Il replicato due ha ottenuto il valore medio del grado d'infezione di 2,71 ed è quello che più si è avvicinato alla media delle medie del grado di infezione (2,75), mentre i replicati tre e quattro (valore medio 3,23) formano un gruppo ad un più alto grado d'infezione medio.

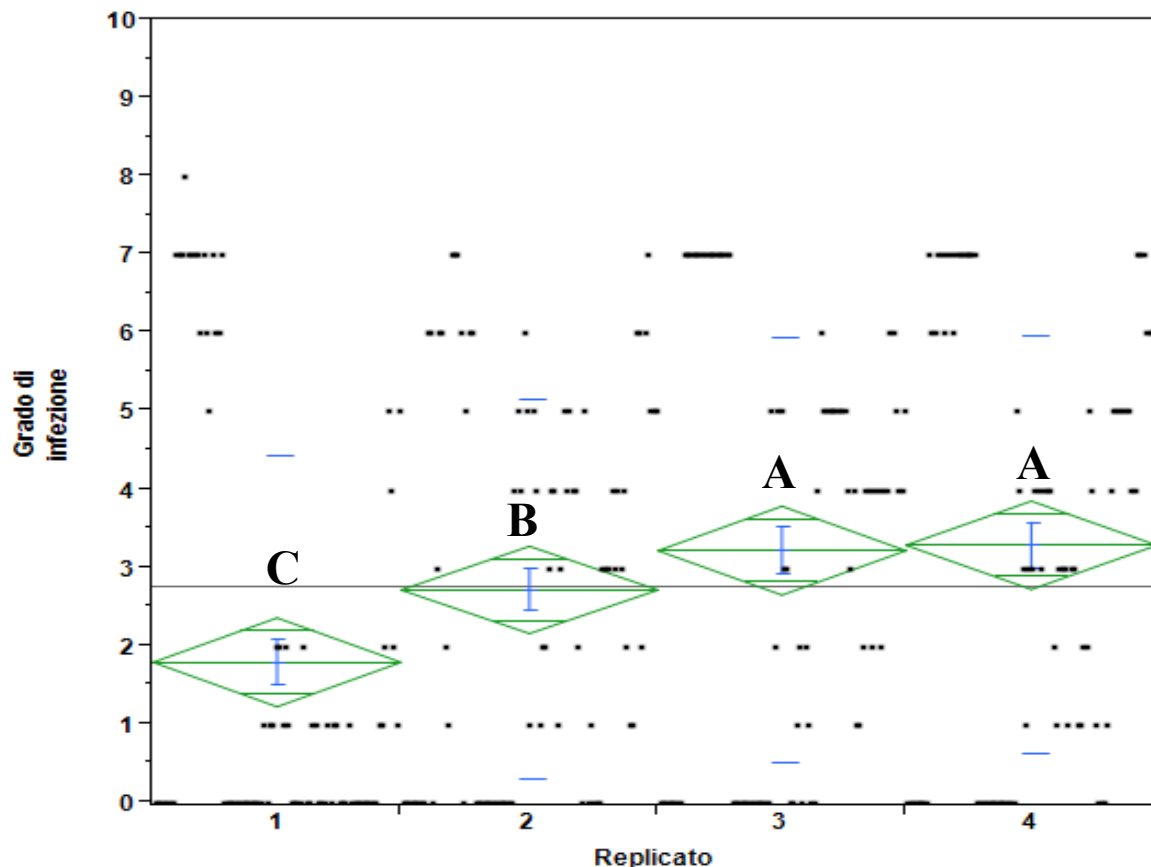


Fig. 3.2 Valori medi d'infezione da *M. incognita* registrati da ciascun replicato, i valori contrassegnati con lettere diverse sono statisticamente differenti per $p=0,05$ (Duncan test)

Da quest'analisi si può affermare che all'interno della serra ha insistito una disformità nel terreno e che i replicati tre e quattro, riportando lo stesso valore medio di tutte le risposte genotipiche, sono stati quelli con maggiore pressione dell'infezione, ma anche quelli più direttamente comparabili tra loro. Tale risultato è dovuto principalmente dalla differente distribuzione del nematode nella serra in quanto prediligendo un terreno più sabbioso, più umido e fresco si è localizzato maggiormente nella zona di terreno più vicino al bordo

della serra dove l'altresì presenza della grondaia di scolo delle acque piovane ha mantenuto più umido il terreno e quindi ha favorito l'aggregazione del patogeno in quelle zone. La tabella 3.3 mostra i dati dell'analisi della varianza e la significatività del dato statistico prendendo in esame i valori del grado d'infezione medio nei quattro replicati.

Tab. 3.3 Analisi della varianza dell'effetto dei replicati sulle risposte di tutti i genotipi

Analisi della Varianza					
Origine	DF	Somma dei quadrati	Media quadratica	Rapporto F	Prob > F
Replicato	3	117,4298	39,1433	5,7322	0,0008
Errore	328	2239,8082	6,8287		
C. Totale	331	2357,238			

E' interessante notare che, mentre i controlli suscettibili e i portainnesti con resistenza intermedia hanno presentato dei valori medi d'infezione variabili in relazione al grado d'infezione generale medio di ogni singolo replicato, i genotipi altamente resistenti (MON-5A, MON-5B, RST-3) hanno ottenuto grado d'infezione 0 indipendentemente dai replicati. La figura 3.3 seguente mostra gli effetti del nematode *M. incognita* sulle radici dove è evidente la netta differenza in termini di presenza di galle tra i controlli Corrado innestato su se stesso, Corrado franco di piede e i genotipi di portainnesto che hanno ottenuto il grado d'infezione più basso tra tutti i genotipi in esame (MON-5A, MON-5B, RST-3). Le immagini mostrano l'evidente attacco su tutto l'apparato radicale dei controlli suscettibili, mentre i genotipi resistenti evidenziano un apparato radicale con poche o nessuna galla prodotta dal nematode.

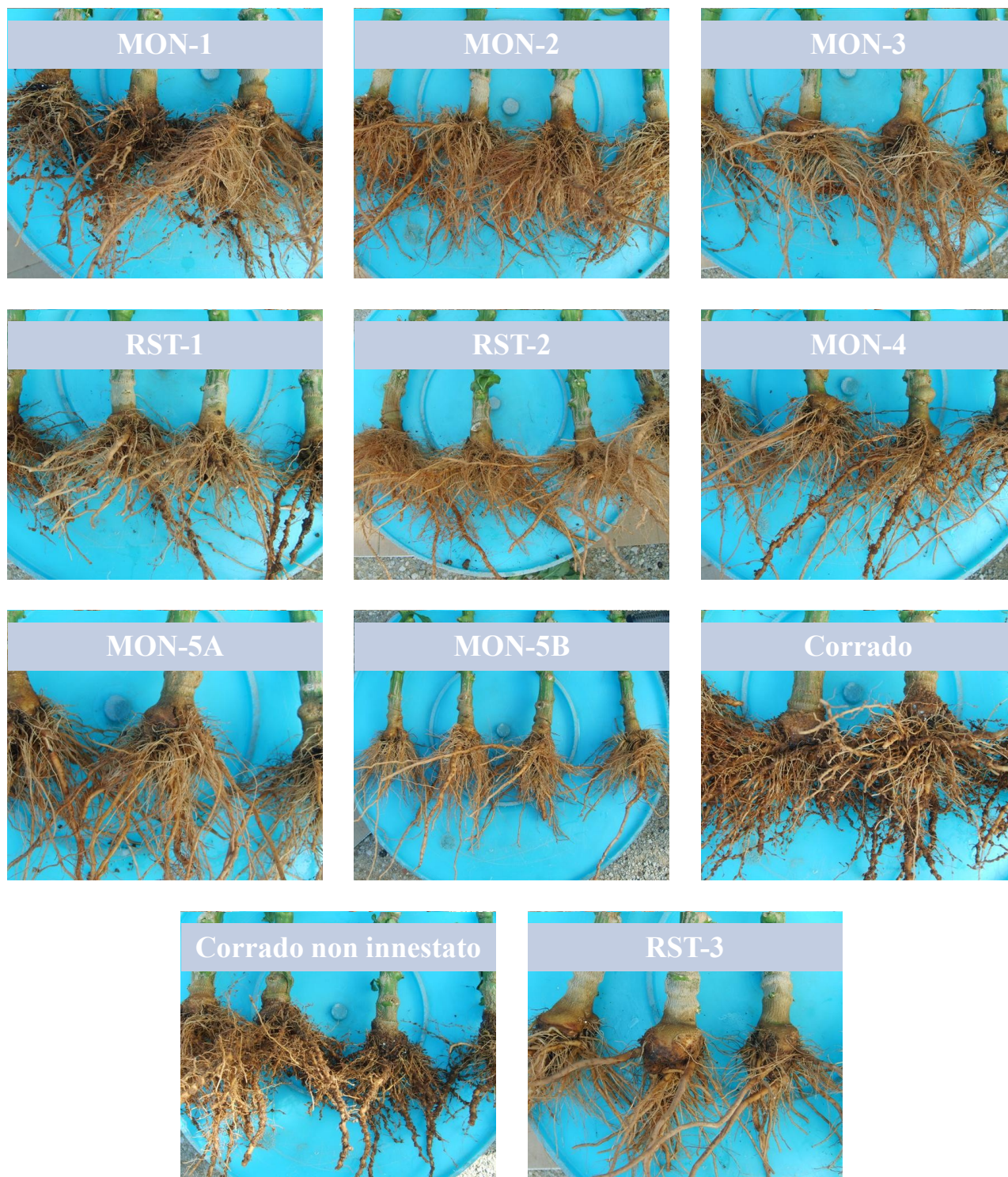


Fig. 3.3 Effetto del nematode *M. incognita* sulle radici dei portainnesti e del controllo non innestato e innestato su se stesso

3.1.2. La prova nell'areale di Fondi, le valutazioni agronomiche

Sono state effettuate venti raccolte nell'arco temporale dal 1 giugno 2011 al 30 settembre 2011. I dati in tabella 3.4 mostrano l'analisi della varianza delle produzioni (suddivise tra le tre categorie merceologiche) e dimostrano che l'effetto genotipico è statisticamente significativo sia che si analizzi la produzione di prima categoria ($F=7,69$ $p<0,0001$), seconda categoria ($F=56,26$ $p<0,0001$) o scarto ($F=43,44$ $p<0,0001$) (prese singolarmente), sia che si analizzi la produzione totale ($F=6,49$ $p<0,0001$, composta dalla somma tra la prima e seconda categoria). L'effetto del replicato non si è dimostrato significativo in nessun caso.

Tab 3.4 Analisi della varianza sulla produzione (suddivisa in categorie merceologiche di prodotto) di tutti i genotipi nei quattro replicati

Dato analizzato	DF	Rapporto F	Prob>F
Kg 1a+2a cat	10	6,49	0,0001
Kg 1a cat	10	7,69	0,0001
Kg 2a cat	10	56,26	0,0001
Scarto	10	43,44	0,0001

La figura 3.4 è la rappresentazione grafica della produzione per pianta di tutti i genotipi in esame (tra i quattro replicati) suddivisa per categoria merceologica.

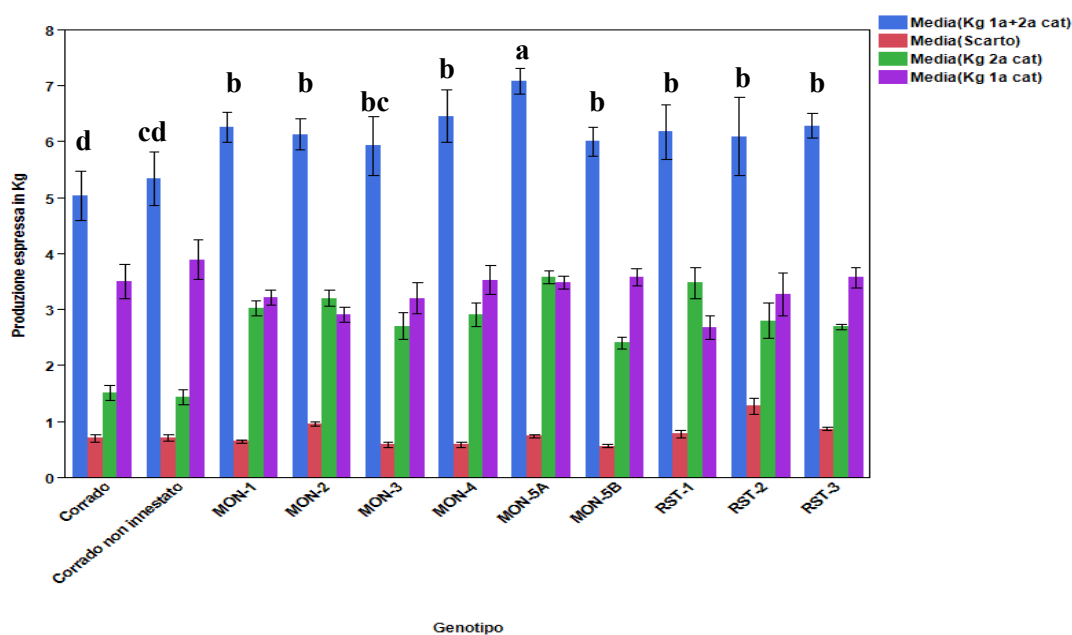


Fig. 3.4 Produzione media per pianta dei genotipi tra i quattro replicati suddivisa in categorie merceologiche, i valori contrassegnati con lettere diverse sono statisticamente differenti per $p=0,05$ (Duncan test)

Per quanto riguarda la produzione media totale maggiore, l'innestato su MON-5A si è dimostrato il più produttivo con 7,09Kg, mentre l'innestato meno produttivo è stato su MON-3 con 5,94Kg. L'ausilio dei portainnesti ha permesso di raggiungere una produttività maggiore del controllo Corrado non innestato (5,35Kg) e Corrado innestato su se stesso (5,05Kg). La maggiore produzione media di frutti di prima categoria è stata ottenuta da Corrado non innestato (3,9Kg), mentre la più bassa con RST-1 (2,69Kg). Analizzando i valori medi per la seconda categoria merceologica il portainnesto MON-5A ha permesso di ottenere la produzione maggiore (3,59Kg) mentre il controllo Corrado non innestato ha ottenuto quella più bassa (1,45Kg). Lo scarto più alto è stato trovato con RST-2 (1,29Kg), quello più basso con MON-3 (0,60Kg). La tabella 3.5 mostra i valori di produzione espressi in Kg durante il ciclo produttivo (somma della 1a e 2a categoria merceologica per pianta) dell'innestato sui portainnesti con i più bassi gradi d'infezione di tutta la prova a confronto con i dati produttivi del genotipo controllo innestato su se stesso e non innestato. Si evince che i portainnesti in esame hanno reso il nesto più precoce e più produttivo. Nel mese di giugno infatti il portainnesto più produttivo si è dimostrato MON-5B con 1,47Kg per pianta mentre Corrado non innestato e innestato su se stesso hanno ottenuto le produzioni più basse con rispettivamente 0,94Kg e 0,93Kg per pianta. Anche andando a sommare le produttività nel primo bimestre il portainnesto RST-3 con 3,02Kg per pianta è più produttivo dei genotipi controllo che si attestano con 2,68Kg per pianta di Corrado non innestato e 2,19Kg per Corrado innestato su se stesso. In ultimo, anche la produzione finale massima è stata ottenuta con l'ausilio del portainnesto MON-5A che ha raggiunto i 7,01Kg per pianta garantendo fino al 30% in più di produzione rispetto al controllo.

Tab 3.5 Valori medi di produzione per pianta (tra i quattro replicati) espressa in Kg (1a+2a cat) $\pm\sigma$

Genotipo	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Totale
MON-5A	1,18 \pm 0,07	1,58 \pm 0,05	2,56 \pm 0,07	1,77 \pm 0,06	7,01 \pm 0,22
MON-5B	1,47 \pm 0,06	1,15 \pm 0,07	2,27 \pm 0,06	1,13 \pm 0,10	6,02 \pm 0,26
Corrado	0,93 \pm 0,10	1,26 \pm 0,09	1,87 \pm 0,13	0,98 \pm 0,12	5,05 \pm 0,43
Corrado non innestato	0,94 \pm 0,04	1,74 \pm 0,19	1,70 \pm 0,12	0,97 \pm 0,14	5,36 \pm 0,48
RST-3	1,24 \pm 0,38	1,78 \pm 0,07	2,02 \pm 0,10	1,24 \pm 0,06	6,30 \pm 0,23

L'analisi della varianza in tabella 3.6 dimostra la significativa differenza di produzione tra l'uso dei portainnesti identificati in tabella 3.5, il controllo non innestato e innestato su se stesso, dove tutti i tre portainnesti rendono il nesto mediamente più produttivo dei controlli in esame. L'analisi statistica effettuata su tutti i replicati tra i genotipi selezionati dimostra che è statisticamente significativa la differenza di produttività tra i genotipi stessi. L'uso del portainnesto ha quindi dimostrato un aumento produttivo del nesto utilizzato.

Tab. 3.6 Analisi della varianza dei dati produttivi dei genotipi controllo e i portainnesto più resistenti a *M. incognita*

Analisi della varianza					
Origine	DF	Somma dei quadrati	Media quadratica	Rapporto F	Prob > F
Genotipo	4	10,414386	2,6036	21,8813	<,0001
Errore	15	1,784806	0,11899		
C. Totale	19	12,199192			

L'analisi dell'effetto del replicato sulla produzione dei genotipi eletti non ha dimostrato significatività per quanto riguarda i differenti portainnesti, mentre si è dimostrata significativa (Tab 3.7 e Fig 3.5) per i controlli. Questo ha avvalorato l'ipotesi della differente distribuzione in serra del patogeno terricolo *M. incognita*. Infatti, il grado medio d'infezione dei replicati tre e quattro si è dimostrato più alto rispetto ai replicati uno e due.

Tab. 3.7 Analisi della varianza dei dati produttivi dei genotipi controllo tra i replicati

Analisi della varianza					
Origine	DF	Somma dei quadrati	Media quadratica	Rapporto F	Prob > F
Replicato	3	1,2432026	0,4144	7,5341	0,0402
Errore	4	0,2200122	0,055		
C. Totale	7	1,4632149			

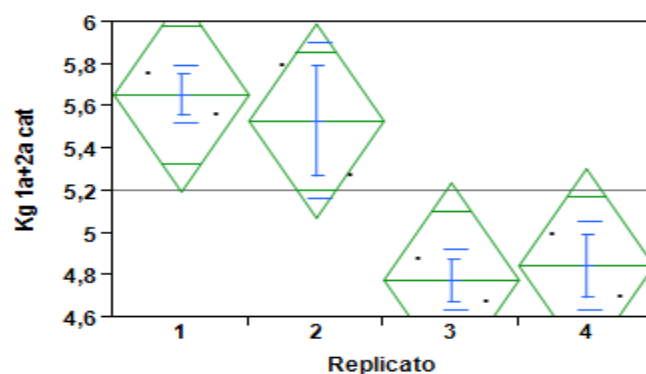


Fig. 3.5 Media di produzione (per pianta) dei controlli nei quattro replicati

L'analisi termometrica seguente è stata effettuata per l'accertamento della resistenza indipendentemente dalle elevate temperature dell'aria e del terreno durante il periodo di prova. La prima registrazione (Fig 3.6 dal 7-3-2011 al 27-5-2011) è stata effettuata con una sonda a 20cm di profondità nel suolo della serra. Dal grafico emergono gli andamenti oscillatori prodotti dalla variazione della temperatura durante il giorno e la notte. Il grafico si sposta da una temperatura media di 17,5°C registrata in marzo, ad una temperatura media di 22,5°C registrata in aprile, per arrivare ad una temperatura media di 24,5°C in maggio. La seconda registrazione (Fig. 3.7 dal 4-3-2011 al 27-5-2011) è stata effettuata con una sonda a 5cm di profondità nel suolo della serra. In questo grafico è possibile osservare una temperatura superiore, con una media di 19,5°C registrata a marzo, una media di 23,5°C registrata in aprile ed una media di 24,5°C registrata a maggio. Sono presenti punte di 30,5°C e 31°C rispettivamente registrate in data 9-4-2011 e 20-5-2011. La terza registrazione (Fig. 3.8 dal 4-3-2011 al 27-5-2011) è stata effettuata con una sonda in aria. La temperatura media di marzo è stata di 22°C, la temperatura media di aprile di 24,5°C e la temperatura media di maggio di 28,5°C con picchi costanti in pieno giorno di 38-40°C.

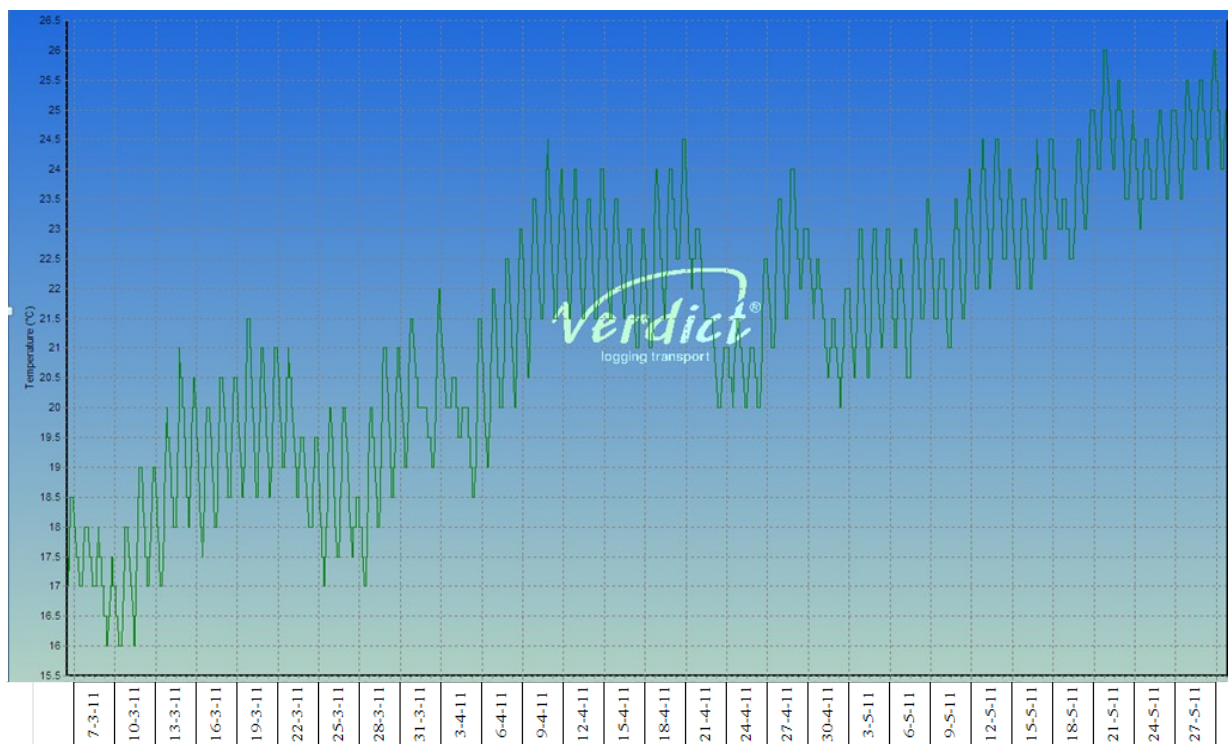


Fig. 3.6 Temperature registrate dal 4-3-2011 al 27-5-2011 a 20cm di profondità nel terreno

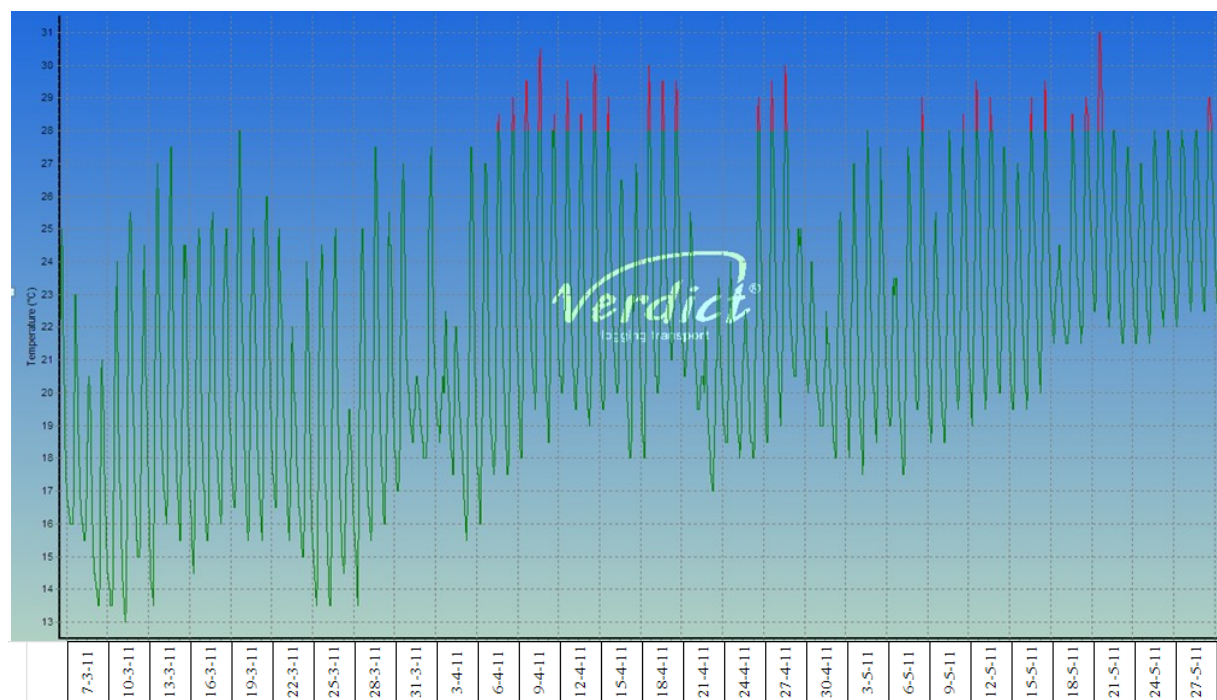


Fig. 3.7 Temperature registrate dal 4-3-2011 al 27-5-2011 a 5cm di profondità nel terreno

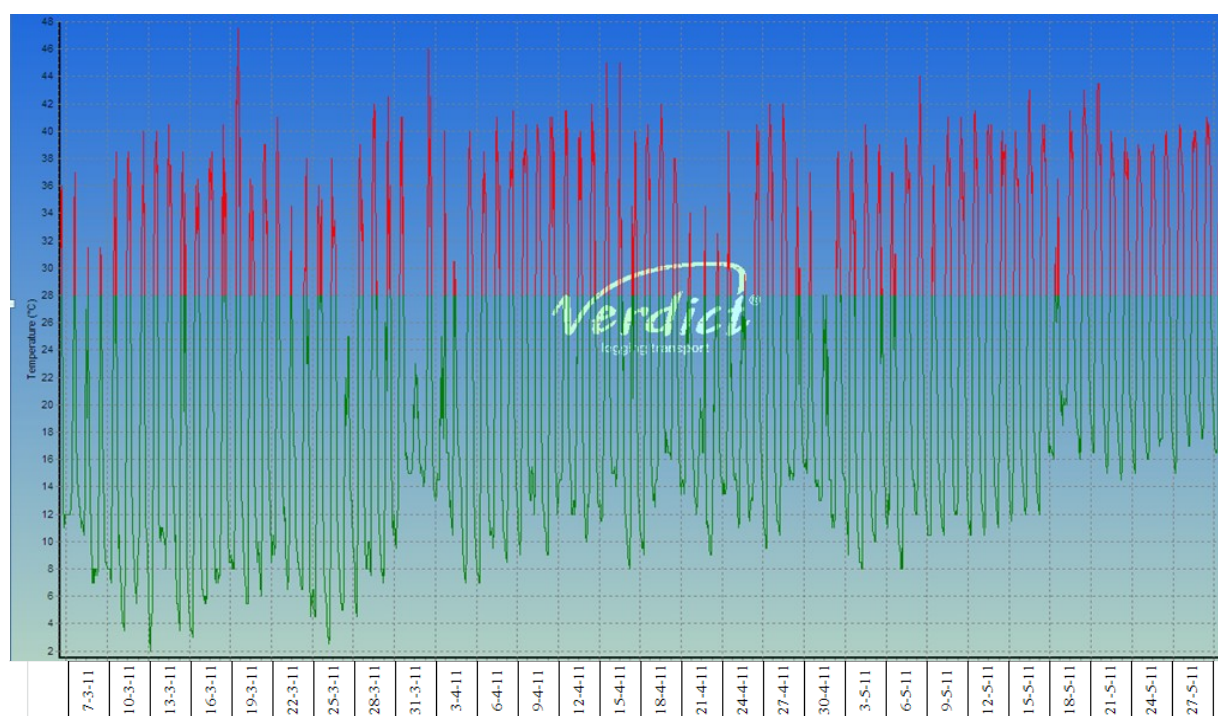


Fig. 3.8 Temperature registrate dal 4-3-2011 al 27-5-2011 in aria aperta

Dalle analisi termometriche è dunque emerso che i genotipi resistenti si sono dimostrati tali indipendentemente dalle alte temperature raggiunte nella serra sia nel terreno sia nell'aria.

3.1.3. La prova nell'areale di Battipaglia (Giffoni-Vallepiana), la resistenza a *P. capsici* e *M. incognita*

La prima analisi è stata effettuata per l'infezione a *P. capsici* calcolando le piante morte di ogni genotipo nei sei replicati. La figura 3.9 è la rappresentazione grafica della risposta globale media di tutti i genotipi nei sei replicati all'infezione da *P. capsici*.

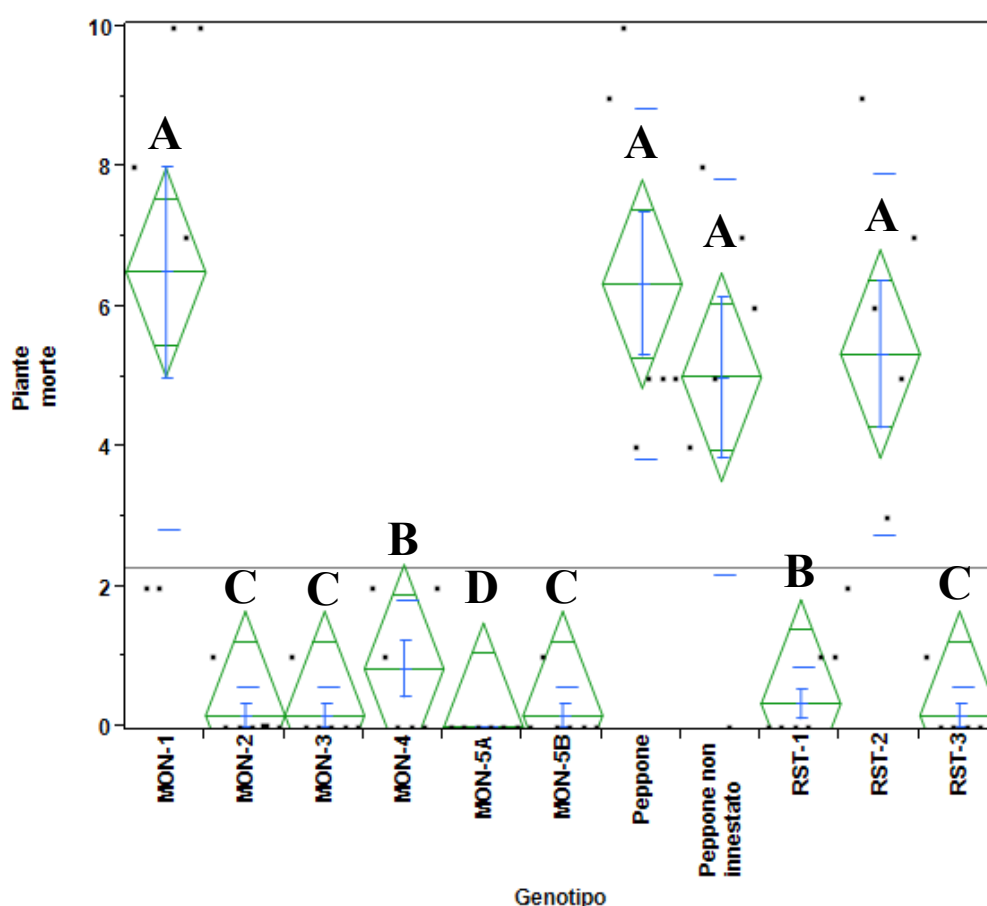


Fig. 3.9 Distribuzione delle medie delle piante morte per *P. capsici* di tutti i genotipi nei sei replicati, i valori contrassegnati con lettere diverse sono statisticamente differenti per $p=0,05$ (Duncan test)

Si evince dall'analisi della varianza (Tab. 3.8) che esiste una significatività dell'effetto genotipo tra i replicati ($F=14,51$ $p<0,0001$). I portainnesti MON-1 (6,5 piante morte per replicato) e RST-2 (5,3 piante morte per replicato) si sono comportati in maniera molto simile alla varietà Peppone non innestato (0,5) e Peppone innestato su se stesso (6,3) dimostrando notevole suscettibilità. Tali genotipi sono stati gli unici al di sopra del livello medio di piante morte (2,27) per replicato nell'intera prova. Circondando in gruppi i genotipi in esame, il test di Duncan ha evidenziato che MON-4 e RST-1 formano il gruppo

B, così come RST-3, MON-2, MON-3, MON-5B formano un ulteriore gruppo di alta resistenza (gruppo C), ma non totale come il portainnesto MON-5A (gruppo D), mentre MON-1, RST-2, Peppone non innestato e innestato su se stesso formano il gruppo A, a più alta percentuale di piante morte.

Tab. 3.8 Analisi della varianza delle piante morte a causa dell'infezione da *P. capsici* dei genotipi nei sei replicati

Analisi della varianza					
Origine	DF	Somma dei quadrati	Media quadratica	Rapporto F	Prob > F
Portainnesto	10	479,4242	47,9424	14,5147	<,0001
Errore	55	181,6667	3,303		
C. Totale	65	661,0909			

L'analisi dell'effetto dei replicati sulle risposte genotipiche non ha dimostrato significatività e la figura 3.10 mostra la media delle risposte tra i replicati.

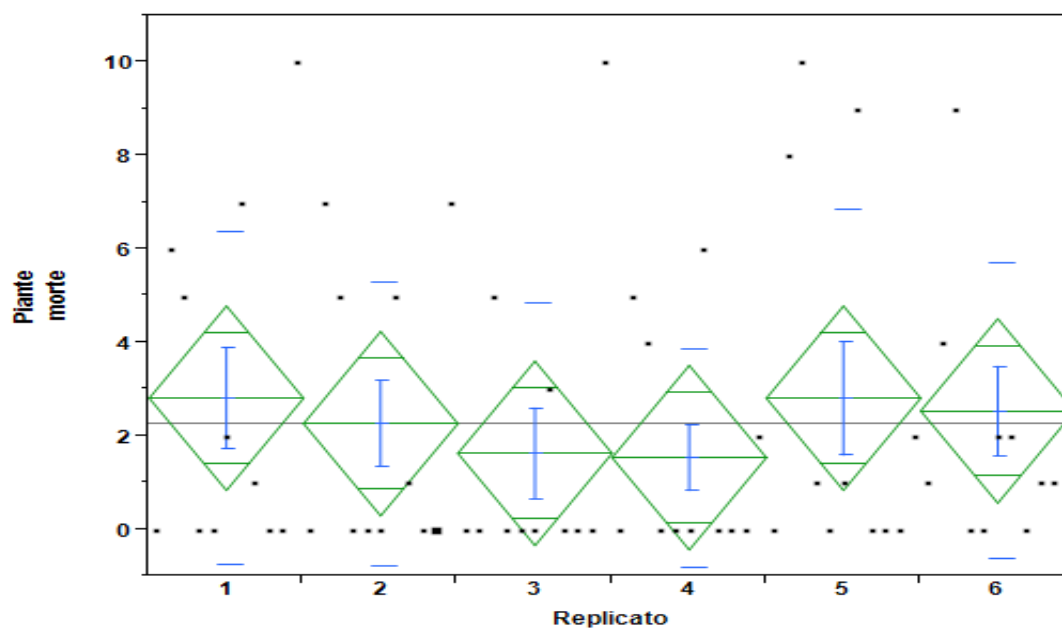


Fig. 3.10 Media delle piante morte per *P. capsici* registrata da ciascun replicato

Si può affermare quindi l'uniformità della pressione dell'infezione della *P. capsici* insistente in tutta la serra e le immagini in figura 3.11 ne mostrano gli effetti.

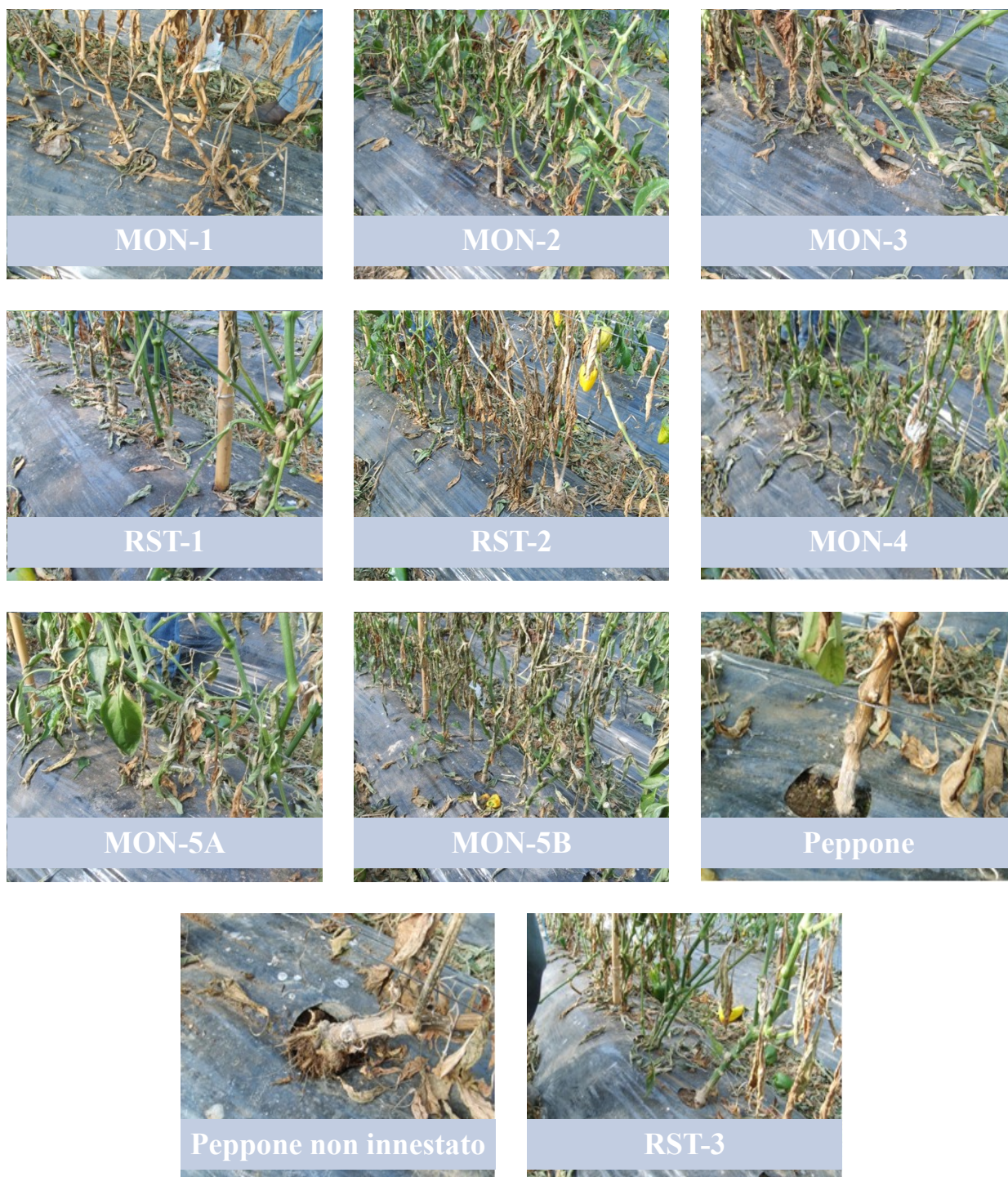


Fig. 3.11 Effetto dell'attacco del fungo *P. capsici* sulle radici dei portainnesti e del controllo non innestato e innestato su se stesso

Per la successiva analisi della resistenza a *M. incognita* sono state utilizzate le varietà che, nell'analisi delle risposte dei genotipi a *P. capsici* su tutti i replicati, hanno evidenziato i maggiori livelli di resistenza (MON-2, MON-3, MON-5A, MON-5B, RST-3 presentati nella Fig. 3.9). La scelta di certi portainnesti è stata dovuta alla perdita quasi totale degli altri genotipi causata dalle infezioni di *P. capsici*. Sono state rilevate differenze statisticamente significative tra i portainnesti valutati (Tab. 3.9). Dalla figura 3.12 si evince che solo il portainnesto MON-5A ha evidenziato un grado d'infezione inferiore al valore medio (1,89) mentre tutti gli altri portainnesti sono risultati leggermente al di sopra di tale valore (MON-2=1,95, MON-3=1,95, MON-5B=2,05, RST-3=2,35).

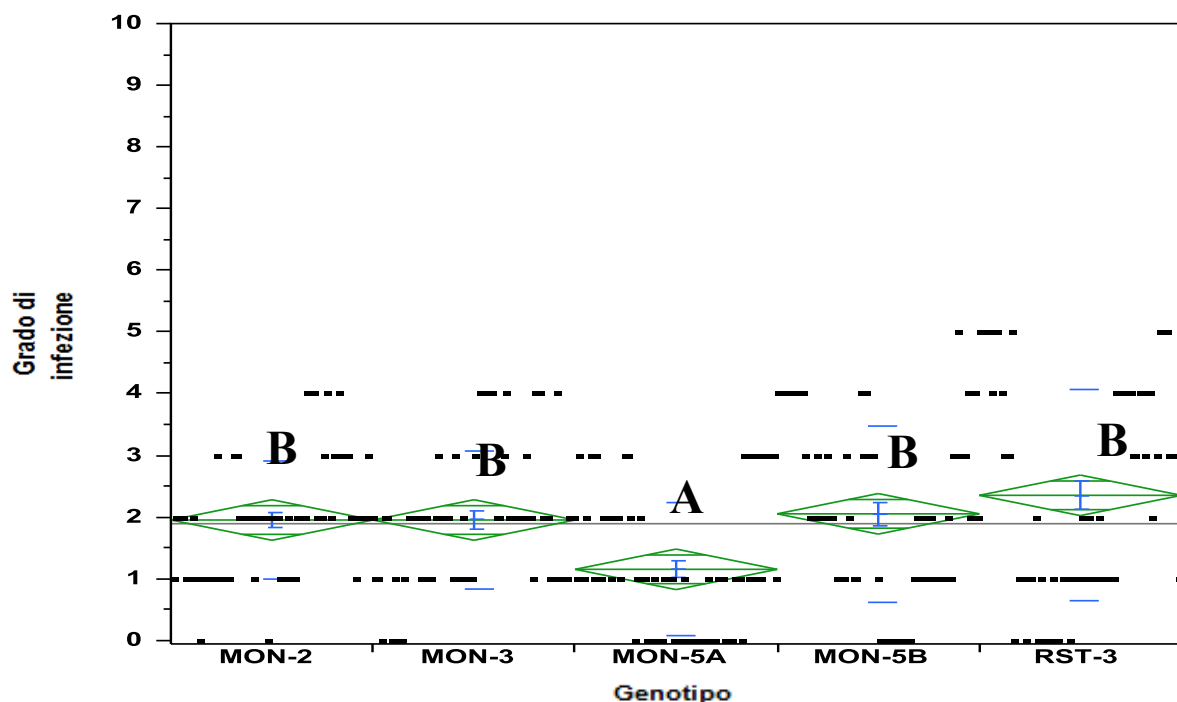


Fig. 3.12 Gradi d'infezione medi da *M. incognita* dei cinque genotipi eletti nei sei replicati, i valori contrassegnati con lettere diverse sono statisticamente differenti per $p=0,05$ (Duncan test)

Tab. 3.9 Analisi della varianza dei gradi d'infezione da *M. incognita* dei cinque genotipi selezionati

Analisi della Varianza					
Origine	DF	Somma dei quadrati	Media quadratica	Rapporto F	Prob > F
Portainnesto	4	47,52	11,88	7,0965	<,0001
Errore	295	493,85	1,6741		
C. Totale	299	541,37			

Dal risultato dell'analisi generale delle medie delle risposte per i sei replicati (Tab. 3.10) il dato statistico di effetto del replicato è significativo ($F=9,3$ $p<0,0001$).

Tab. 3.10 Analisi della varianza dell'effetto dei replicati sulle risposte genotipiche a *M. incognita* delle cinque varietà scelte

Analisi della Varianza					
Origine	DF	Somma dei quadrati	Media quadratica	Rapporto F	Prob > F
Replicato	5	73,99	14,798	9,3085	<,0001
Errore	294	467,38	1,5897		
C. Totale	299	541,37			

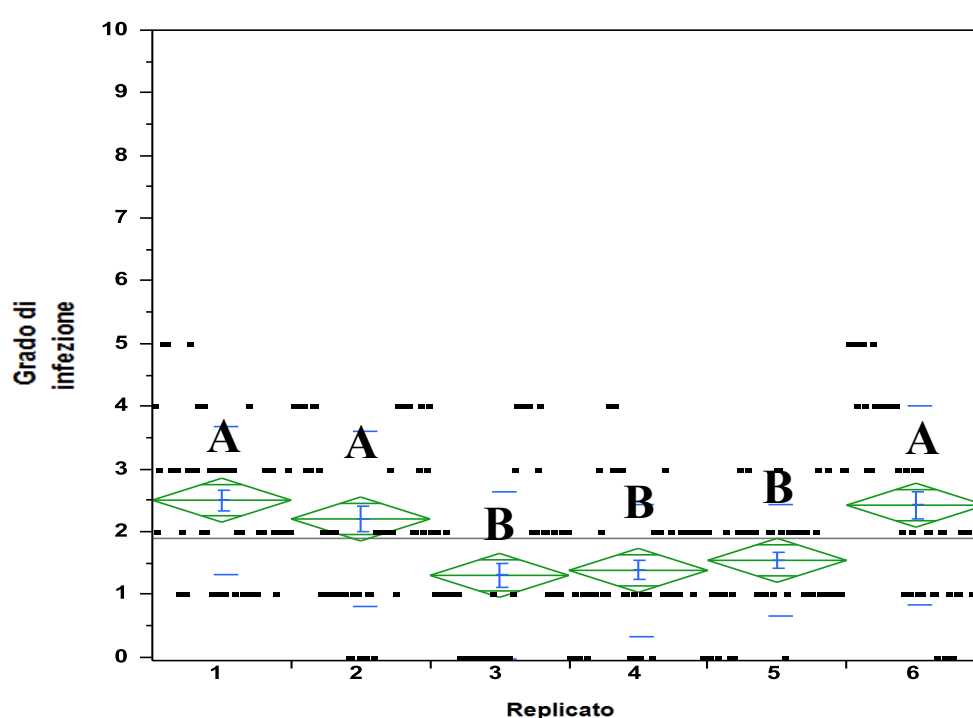


Fig. 3.13 Grado d'infezione medio da *M. incognita* registrato da ciascun replicato, i valori contrassegnati con lettere diverse sono statisticamente differenti per $p=0,05$ (Duncan test)

In figura 3.13 sono riportati i gradi d'infezione medi di ciascun replicato e dall'analisi si evince che i replicati uno, due e sei formano il gruppo A, così come i replicati tre, quattro e cinque formano il gruppo B. Poiché tra questi gruppi vi è una differenza di risposta di resistenza genotipica media, ciò permette di asserire che all'interno della serra ha insistito una disformità dell'infezione da *M. incognita*, confermando altresì il risultato già

presentato per l'areale di Fondi. Il gruppo A ha un più alto valore medio del grado d'infezione rispetto al gruppo B, dimostrando dunque una differente pressione dell'infezione tra questi due gruppi di replicati.

3.1.4. La prova nell'areale di Battipaglia (Giffoni-Vallepiana), le valutazioni agronomiche

Di concerto all'analisi di resistenza, sono state analizzate le produzioni parziali e totali di tutti gli individui innestati, la varietà Peppone non innestata e Peppone innestato su se stesso. I dati in tabella 3.11 dell'analisi della varianza delle produzioni (suddivise tra le tre categorie merceologiche) hanno dimostrato che l'effetto genotipico è statisticamente significativo in tutte le categorie merceologiche analizzate. L'effetto del replicato non si è dimostrato significativo in nessun caso.

Tab 3.11 Analisi della varianza sulla produzione (suddivisa in categorie merceologiche di prodotto) di tutti i genotipi

Dato analizzato	DF	Rapporto F	Prob>F
Kg 1a+2a cat	10	21,51	0,0001
Kg 1a cat	10	30,73	0,0001
Kg 2a cat	10	71,79	0,0001
Scarto	10	367,5	0,0001

È importante ricordare che la produzione raggiunta con MON-1, RST-2, Peppone non innestato e Peppone innestato su se stesso è stata inficiata dall'alta pressione del patogeno *P. capsici* il quale ha inciso per mortalità sulle piante analizzate. Sono state effettuate otto raccolte dal 26 giugno al 30 settembre 2011. L'analisi di produzione totale, sommando la prima e seconda categoria merceologica, ha dimostrato che l'utilizzo dei portainnesti permette di ottenere una produzione maggiore rispetto al controllo innestato su se stesso e non innestato. Peppone innestato su MON-1 ha ottenuto la produzione più bassa tra tutti gli innestati con una produzione media tra i replicati di 2,40Kg per pianta ma un risultato ancora inferiore è stato ottenuto da Peppone non innestato 2,35Kg e Peppone innestato su se stesso 2,04 Kg per pianta. Il portainnesto che ha permesso di ottenere la produzione massima è stato MON-5A con 3,38Kg per pianta. Per quanto riguarda la prima categoria

merceologica, il risultato di più bassa produzione degli innestati è stato ottenuto con Peppone innestato su MON-1 che si è attestato a 1,92Kg per pianta, la più alta produzione è stata ottenuta con MON-5A con 2,70Kg per pianta mentre il controllo Peppone innestato su se stesso e Peppone non innestato hanno raggiunto rispettivamente 1,55Kg per pianta e 1,95Kg per pianta. La seconda categoria merceologica ha visto la maggior produzione con l'uso del portainnesto RST-1 0,722Kg per pianta, la più bassa è stata ottenuta con Peppone non innestato 0,400Kg per pianta mentre Peppone innestato su se stesso ha prodotto mediamente 0,49Kg per pianta con deviazione standard di 0,026. Lo scarto medio ottenuto nella prova è stato di 0,015Kg ed è stato quindi ritenuto poco indicativo. Il grafico in figura 3.14 evidenzia l'andamento produttivo per pianta di tutti i genotipi in esame evidenziando come l'uso del portainnesto garantisce una produzione totale fino al 43% in più rispetto ai controlli in esame.

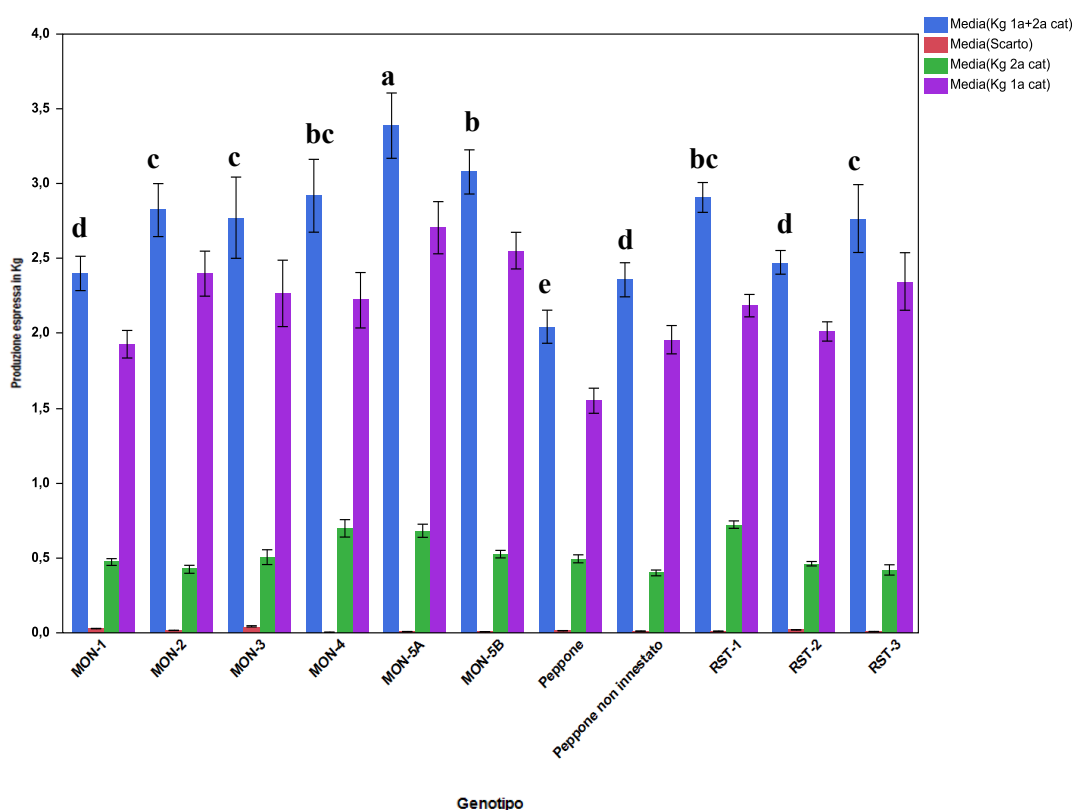


Fig. 3.14 Produzione media per pianta dei genotipi tra i sei replicati suddivisa in categorie merceologiche, i valori contrassegnati con lettere diverse sono statisticamente differenti per $p=0,05$ (Duncan test)

La tabella 3.12 presenta la produzione di prima e seconda categoria durante il ciclo produttivo dei tre migliori genotipi portainnesto, con i controlli Peppone non innestato e innestato su se stesso. Nel primo mese di produzione l'innestato MON-5B si è dimostrato il più produttivo con 0,26Kg per pianta mentre il controllo Peppone innestato su se stesso e Peppone non innestato hanno ottenuto le produzioni più basse rispettivamente di 0,10Kg e 0,14Kg per pianta. Anche sommando le produzioni del bimestre giugno-luglio la produzione massima è stata garantita con l'uso del portainnesto MON-4 (1,64Kg per pianta). Infine anche la produzione totale massima è stata ottenuta con l'uso del portainnesto MON-5A il quale ha permesso di produrre la massima quantità di frutti di prima e seconda categoria (3,39Kg). Quindi solo con l'ausilio del portainnesto è stato possibile ottenere una produzione agronomicamente accettabile, maggiore precocità e, nello specifico solo MON-5A ha prodotto fino al 43% in più dei corrispettivi controlli non innestati.

Tab 3.12 Valori medi di produzione tra i sei replicati per pianta espressa in Kg (1a+2a cat)

Genotipo	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Totale $\pm\sigma$
MON-4	0,24 \pm 0,02	1,40 \pm 0,11	0,47 \pm 0,04	0,79 \pm 0,06	2,92 \pm 0,24
MON-5A	0,23 \pm 0,01	1,39 \pm 0,09	0,47 \pm 0,03	1,29 \pm 0,08	3,39 \pm 0,22
MON-5B	0,26 \pm 0,01	1,30 \pm 0,06	0,50 \pm 0,02	1,01 \pm 0,05	3,08 \pm 0,15
Peppone	0,10 \pm 0,01	0,97 \pm 0,05	0,43 \pm 0,02	0,56 \pm 0,03	2,04 \pm 0,11
Peppone non innestato	0,14 \pm 0,01	1,14 \pm 0,05	0,44 \pm 0,02	0,64 \pm 0,03	2,36 \pm 0,12

L'analisi della varianza presentata in tabella 3.13 dei genotipi controllo e dei genotipi più produttivi presenti in tabella 3.12 dimostra che esiste differenza statisticamente significativa tra i genotipi analizzati, dimostrando che l'uso del portainnesto aumenta la produttività del nesto usato. L'effetto replicato, in questo caso, non si è dimostrato significativo.

Tab. 3.13 Analisi della varianza dell'effetto genotipico sulla produttività totale (1a+2a cat) tra i genotipi controllo e più i produttivi

Analisi della Varianza					
Origine	DF	Somma dei quadrati	Media quadratica	Rapporto F	Prob > F
Genotipo	4	7,1665938	1,79165	58,2705	<,0001
Errore	25	0,7686778	0,03075		
C. Totale	29	7,9352716			

3.2. Le prove agronomiche in campo nell'anno 2012

Nell'anno 2012 sono state effettuate quattro prove sperimentali in due areali diversi di produzione: l'areale di Fondi e quello di Battipaglia. In quest'anno sono stati riproposti i portainnesti migliori dell'anno 2011 (MON-5A e RST-3) e aggiunti sei di nuovi per un totale di otto portainnesti in esame.

3.2.1. La prova nell'areale di Fondi, la resistenza a *M. incognita*

La prima analisi effettuata comprendente tutti i genotipi analizzati nei cinque replicati in esame ha evidenziato una differenza statisticamente significativa per il grado d'infezione galligena radicale ($F=61,26$ $p<0,0001$).

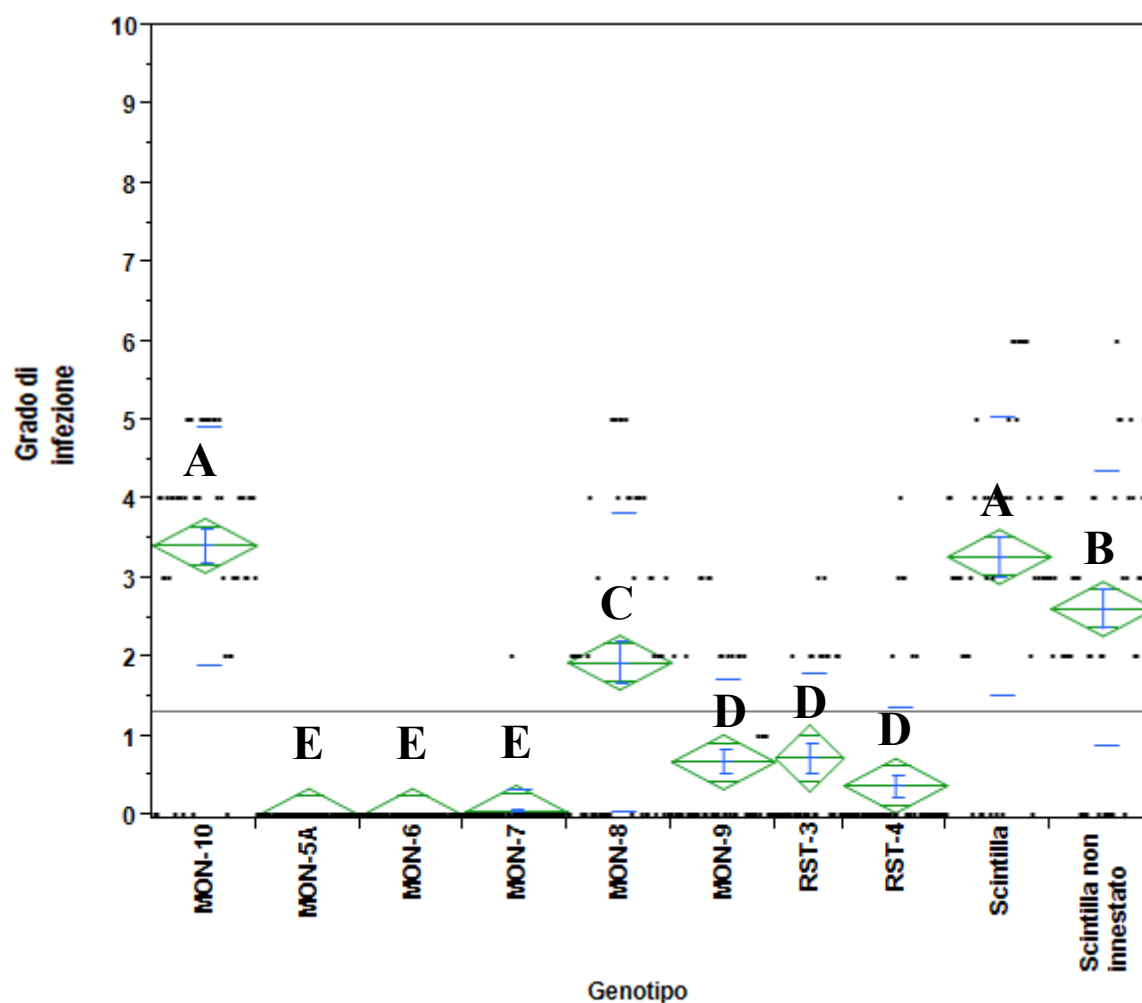


Fig. 3.15 Gradi d'infezione medi da *M. incognita* dei genotipi nei cinque replicati, i valori contrassegnati con lettere diverse sono statisticamente differenti per $p=0,05$ (Duncan test)

La rappresentazione grafica delle medie delle risposte (Fig. 3.15) mostra che solo 4 genotipi si sono posizionati al di sopra della media generale delle risposte che ha valore del grado d'infezione medio di 1,32. Tra questi, i genotipi di controllo Scintilla non innestato e Scintilla innestato su se stesso hanno ottenuto rispettivamente un grado d'infezione medio di 2,62 e 3,28 dimostrandosi quindi suscettibili all'attacco del nematode. Tali valori medi del grado d'infezione dei genotipi controllo stanno ad indicare che nella serra ha insistito una bassa pressione del patogeno terricolo *M. incognita*. Allo stesso modo anche i genotipi portainnesto MON-10 e MON-8 si sono dimostrati suscettibili ottenendo valori medi d'infezione rispettivamente di 3,42 e 1,94. Tra i genotipi al di sotto della media generale solo i portainnesti MON-5A, MON-6, anche se in presenza di una modesta pressione del patogeno, hanno ottenuto il grado d'infezione 0 su tutti i replicati.

Tab. 3.14 Analisi della varianza dei gradi d'infezione da *M. incognita* di tutti i genotipi nei cinque replicati

Analisi della varianza					
Origine	DF	Somma dei quadrati	Media quadratica	Rapporto F	Prob > F
Portainnesto	9	848,673	94,297	61,2684	<,0001
Errore	473	727,986	1,5391		
C. Totale	482	1576,66			

I dati ottenuti sono statisticamente significativi e avvalorati dal risultato dell'analisi della varianza mostrato in tabella 3.14 ($F=61,26$ e $p<0,0001$).

E' interessante notare come i genotipi al di sotto del valore medio della prova si distribuiscano in due gruppi di resistenza E (MON-5A, MON-6 e MON-7) e D (RST-3, MON-9 e RST-4). MON-10 e Scintilla innestato su se stesso formano invece il gruppo A più suscettibile mentre Scintilla non innestato e MON-8 formano due gruppi di suscettibilità separati. Dal risultato dell'analisi della varianza delle risposte nei cinque replicati si evince che il dato statistico di effetto del replicato è significativo come mostrato in tabella 3.15 con $F=4,2$ e $p<0,0022$.

Tab. 3.15 Analisi della varianza dell'effetto dei replicati sulle risposte dei genotipi

Analisi della varianza					
Origine	DF	Somma dei quadrati	Media quadratica	Rapporto F	Prob > F
Replicato	4	53,9172	13,4793	4,2313	0,0022
Errore	478	1522,74	3,1857		
C. Totale	482	1576,66			

La figura 3.16 mostra la distribuzione delle medie delle risposte nei replicati ed evidenzia come due replicati su cinque si dispongano sopra il valore medio d'infezione della prova di 1.32. Il replicato quattro presenta il più basso valore medio del grado d'infezione (0,95) mentre il replicato tre con 1,74 possiede il valore medio più alto.

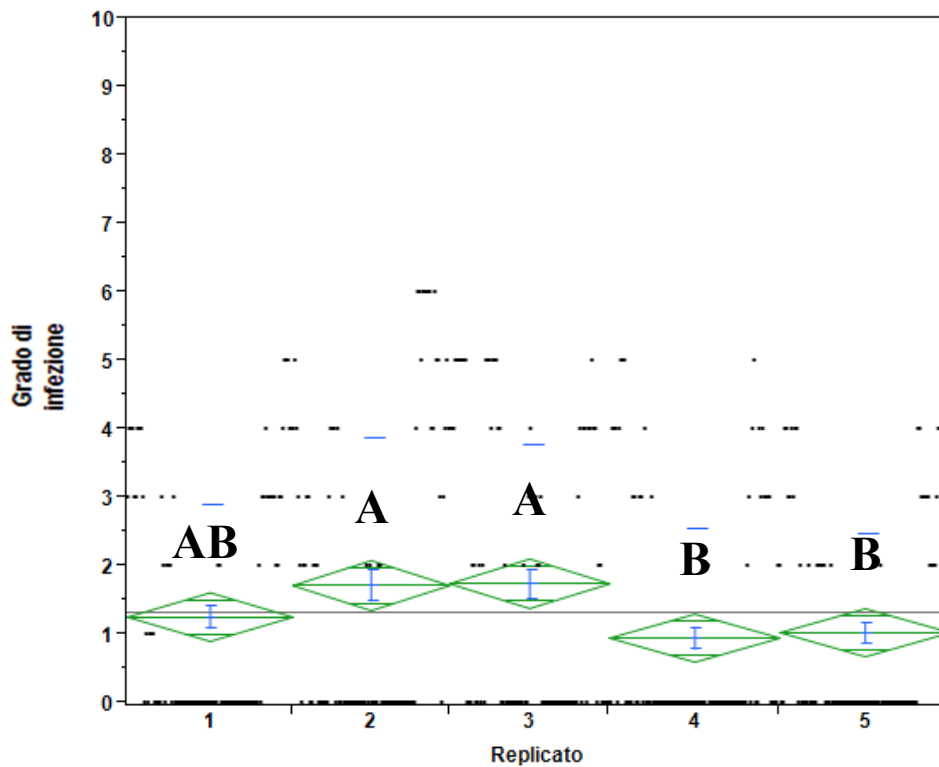


Fig. 3.16 Valori medi d'infezione da *M. incognita* registrati in ciascun replicato, i valori contrassegnati con lettere diverse sono statisticamente differenti per $p=0,05$ (Duncan test)

Da quest'analisi, seppur con un basso grado d'infezione medio dei replicati, si può evincere che il nematode si è distribuito nella serra in maniera non uniforme portando i replicati ad avere valori diversi tra loro facendoli quindi raggruppare in due gruppi separati A e B con il solo replicato uno a cavallo tra i due gruppi. Questo risultato si è dimostrato in accordo con il risultato ottenuto a Fondi nel 2011. Inoltre a differenza dei controlli suscettibili e dei portainnesti con resistenza intermedia, i quali hanno presentato dei valori medi d'infezione variabili in relazione al grado d'infezione generale medio di ogni singolo replicato, i portainnesti altamente resistenti (MON-5A, MON-6, MON-7) hanno ottenuto grado d'infezione 0 indipendentemente dai replicati.

3.2.2. La prova nell'areale di Fondi, le valutazioni agronomiche

Sono state effettuate nove raccolte in un arco temporale che è andato dal 15 giugno al 15 settembre 2012. L'analisi della varianza (Tab. 3.16) dimostra che è statisticamente significativa la differenza di produzione tra i vari genotipi analizzati. Tutte le categorie analizzate dimostrano significativa differenza sia che si analizzi separatamente la produzione totale che ha ottenuto $F=16,67$ $p<0,0001$, lo scarto con $F=34,10$ $p<0,0001$, oppure la prima e seconda categoria che hanno ottenuto rispettivamente i valori di $F=12,32$ e $F=6,40$ con $p<0,0001$.

Tab 3.16 Analisi della varianza sulla produzione (suddivisa in categorie merceologiche di prodotto) di tutti i genotipi nei cinque replicati

Dato analizzato	DF	Rapporto F	Prob>F
Kg 1a+2a cat	9	16,67	0,0001
Kg 1a cat	9	12,32	0,0001
Kg 2a cat	9	6,40	0,0001
Scarto	9	34,10	0,0001

La figura 3.17 è la rappresentazione grafica della produzione media per pianta di tutti i genotipi in esame (tra i cinque replicati) suddivisa per categoria merceologica.

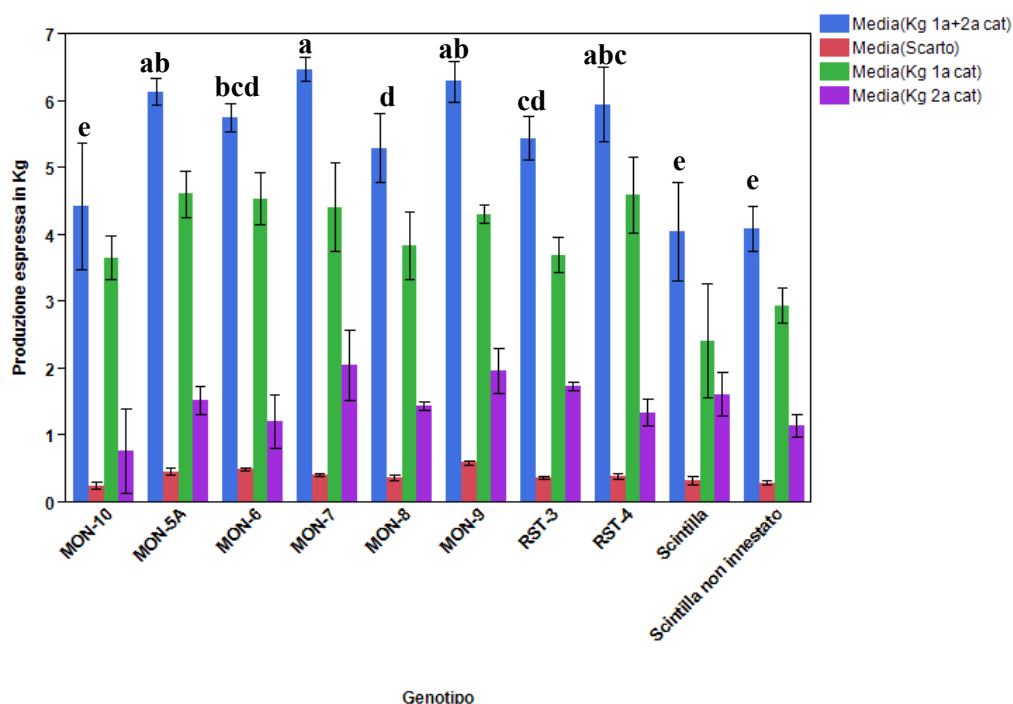


Fig. 3.17 Produzione media per pianta dei genotipi tra i cinque replicati suddivisa in categorie merceologiche, i valori contrassegnati con lettere diverse sono statisticamente differenti per $p=0,05$ (Duncan test)

Per quanto riguarda la produzione media totale, (somma tra prima e seconda categoria) l'innestato su MON-7 con 6,48Kg per pianta si è dimostrato il più produttivo tra tutti i genotipi in esame, mentre, l'innestato su MON-10 ha ottenuto la produzione più bassa tra tutti i genotipi di portainnesto utilizzati (4,44Kg per pianta). L'ausilio dei portainnesti ha comunque permesso di ottenere una produzione totale maggiore rispetto ai controlli Scintilla innestato su se stesso e Scintilla non innestato che hanno ottenuto rispettivamente una produzione di 4,05Kg e 4,10Kg per pianta. Analizzando solo la prima categoria merceologica, l'innestato su MON-5A ha raggiunto la produzione massima con 4,61Kg per pianta, mentre la produzione più bassa è stata ottenuta da Scintilla innestato su se stesso con 2,42Kg per pianta. Analizzando i valori medi di produzione di frutti di seconda categoria l'innestato su MON-7 ha raggiunto la produzione più alta con 2,05Kg per pianta, mentre la produzione più bassa è stata ottenuta dall'innestato su MON-10 con soli 0,77Kg per pianta. Per quanto riguarda lo scarto, l'utilizzo del portainnesto MON-9 ha portato al più alto scarto in assoluto (0,60Kg per pianta) mentre lo scarto più basso è stato ottenuto con MON-10 (0,25Kg per pianta). Andando ad analizzare il ciclo produttivo per l'innestato sui tre portainnesti risultati più resistenti all'attacco del nematode (MON-5A, MON-6, MON-7) a confronto con i controlli suscettibili si evince dalla tabella 3.17 che i portainnesti hanno reso il nesto più precoce e, in termini assoluti, più produttivo. Infatti, nel mese di giugno l'innestato su MON-6 si è dimostrato il più produttivo con 1,41Kg per pianta confrontato con Scintilla non innestato (0,84Kg per pianta) e Scintilla innestato su se stesso il quale ha ottenuto la produzione più bassa di giugno con 0,63Kg per pianta. Sommando i primi due mesi di raccolta l'innestato su MON-7 ha ottenuto la produzione più alta con 3,24Kg per pianta e anche per produzione totale assoluta con 6,48Kg mentre i controlli Scintilla non innestato e innestato su se stesso hanno raggiunto rispettivamente 4,10Kg e 4,05Kg per pianta.

Tab 3.17 Valori medi di produzione per pianta dei genotipi eletti (tra i cinque replicati) espressa in Kg (1a+2a cat) $\pm\sigma$

Genotipo	giugno	luglio	agosto	settembre	Totale
MON-5A	1,11 \pm 0,08	1,96 \pm 0,33	1,55 \pm 0,13	1,51 \pm 0,08	6,14 \pm 0,20
MON-6	1,41 \pm 0,9	1,49 \pm 0,08	1,46 \pm 0,24	1,39 \pm 0,14	5,75 \pm 0,20
MON-7	1,12 \pm 0,13	2,12 \pm 0,12	1,59 \pm 0,17	1,64 \pm 0,14	6,48 \pm 0,18
Scintilla	0,63 \pm 0,10	1,85 \pm 0,08	0,75 \pm 0,46	0,8 \pm 0,20	4,05 \pm 0,73
Scintilla non innestato	0,84 \pm 0,19	1,8 \pm 0,17	0,54 \pm 0,17	0,9 \pm 0,15	4,10 \pm 0,33

L'uso del portainnesto ha garantito una produttività totale maggiore rispetto ai controlli suscettibili fino al 57% e la differenza di produzione è statisticamente significativa come è mostrato nella tabella 3.18 dove, dall'analisi della varianza è stato ottenuto un valore di $F=42,59$ con $p<0,0001$.

Tab. 3.18 Analisi della varianza dell'effetto dei genotipi eletti sulla produzione di 1a+2a categoria

Analisi della varianza					
Origine	DF	Somma dei quadrati	Media quadratica	Rapporto F	Prob > F
Genotipo	4	26,448579	6,61214	42,5972	<,0001
Errore	20	3,104498	0,15522		
C. Totale	24	29,553077			

L'analisi della varianza dell'effetto del replicato sulle produzioni dei genotipi di portainnesto non ha mostrato significatività mentre si è dimostrata significativa per i controlli suscettibili (tabella 3.19) con valore $F=5,63$ e $p<0,0428$. In figura 3.18 sono presentate le medie di produzione dei soli genotipi controllo nei cinque replicati e si evince che in termini produttivi, la produzione massima raggiunta dai controlli, si è ottenuta nei replicati quattro e cinque i quali hanno dimostrato un grado d'infezione medio inferiore alla media generale d'infezione.

Tab. 3.19 Analisi della varianza dell'effetto dei replicati sulle produzioni dei genotipi controllo

Analisi della varianza					
Origine	DF	Somma dei quadrati	Media quadratica	Rapporto F	Prob > F
Replicato	4	2,1580949	0,539524	5,6305	0,0428
Errore	5	0,4791062	0,095821		
C. Totale	9	2,6372011			

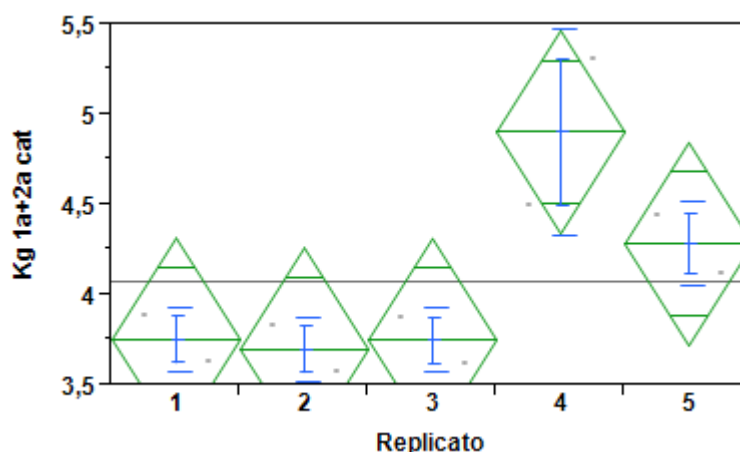


Fig. 3.18 Distribuzione della media di produzione (per pianta) dei controlli nei cinque replicati

3.2.3. La prova nell'areale di Fondi, l'analisi fenomorfológica

L'analisi fenomorfológica effettuata ha coinvolto venti caratteristiche riguardanti la pianta e la bacca prodotta dal nastro in relazione al portainnesto utilizzato. Tra queste caratteristiche la vigoria del nastro, la precocità, l'altezza del nastro, il diametro e la regolarità del frutto si sono rivelate discriminanti tra i genotipi analizzati.

Tab 3.20 Caratteristiche quali-quantitative del nastro in relazione ai genotipi utilizzati, i valori contrassegnati con lettere diverse appartengono a classi differenti per $p=0,05$ (Duncan test)

Genotipo	Vigore del nastro	Precocità del nastro	Altezza del nastro (cm) dopo 120gg	Regolarità del frutto	Larghezza del frutto (cm) al calice
MON-5A	6 b	5 b	104,8 b	6 c	10,8 bc
MON-6	5 a	5 b	92,6 a	4 a	10,5 b
MON-7	6 b	4 a	108,7 c	6 c	10,2 b
MON-8	7 c	4 a	112,4 cd	5 b	9,8 ab
MON-9	7 c	5 b	120,7 d	6 c	9,1 a
MON-10	5 a	7 c	124,6 d	6 c	10,4 b
RST-3	7 c	5 b	102 b	7 d	11,4 c
RST-4	5 a	5 b	105,5 b	4 a	10,2 b
Scintilla	6 b	7 c	111 cd	6 c	10,6 bc
Scintilla non innestato	6 b	7 c	114,6 cd	6 c	10,4 b

Dalla tabella 3.20 si evince in che modo la differente interazione tra i genotipi di portainnesto e il nastro influiscano sulla fenologia e le bacche prodotte da quest'ultimo. L'utilizzo di MON-6, RST-4 e MON-10 ne abbassano il vigore (valore 5) rispetto al controllo Scintilla non innestato e Scintilla innestato su se stesso (valore 6). L'aumento di vigoria del nastro si ottiene invece utilizzando i portainnesti RST-3, MON-8 e MON-9. L'innestato più precoce si è ottenuto con l'ausilio di MON-7 e MON-8, mentre MON-10 non ha portato variazioni al nastro dimostrandosi tardivo come i controlli non innestati (valore 7). L'innestato più alto si è ottenuto con MON-10 (124,6cm) e MON-9 (120,7cm) mentre il più basso con MON-6 (92,6cm). Per quanto riguarda la regolarità dei frutti prodotti, il portainnesto RST-3 (valore 7) ha permesso di migliorare e uniformare la pezzatura anche in relazione ai controlli, i quali entrambi hanno ottenuto valori più bassi (6). Un netto peggioramento invece è stato ottenuto con i portainnesti MON-6 e RST-4

che, ottenendo il valore 4, hanno peggiorato forma e regolarità delle bacche. Il diametro maggiore al calice della bacca è stato ottenuto con RTS-3 (11,4cm), il più piccolo con MON-9 (9,1cm) mentre i controlli Scintilla non innestato e Scintilla innestato su se stesso hanno ottenuto rispettivamente 10,4cm e 10,6cm. I dati ottenuti dimostrano che esiste una interazione diversa con il nastro, dipendente dal genotipo di portainnesto utilizzato.

3.2.4. La prova nell'areale di Battipaglia (Pontecagnano 1), l'analisi fenomorfológica

Come per Fondi anche a Battipaglia l'analisi fenomorfológica ha coinvolto venti caratteristiche riguardanti la pianta e la bacca prodotta dal nastro in relazione al portainnesto utilizzato. Vigoria del nastro, la precocità, l'altezza del nastro, il diametro e la regolarità del frutto si sono rivelate discriminanti tra i genotipi analizzati. La prova è stata effettuata in serra su terreno disinfettato.

Tab 3.21 Caratteristiche quali-quantitative del nastro in relazione ai genotipi utilizzati, i valori contrassegnati con lettere diverse appartengono a classi differenti per $p=0,05$ (Duncan test)

Genotipo	Vigore del nastro	Precocità del nastro	Altezza del nastro (cm) dopo 120gg	Regolarità del frutto	Larghezza del frutto (cm) al calice
MON-5A	6 b	6 c	100,5 b	6 b	9 b
MON-6	5 a	5 b	90,0 a	6 b	9,5 bc
MON-7	7 c	4 a	108,6 bc	6 b	9 b
MON-8	7 c	5 b	112,3 c	7 c	9 b
MON-9	7 c	6 c	120,6 d	7 c	8,5 a
MON-10	7 c	6 c	125,7 d	7 c	9 b
RST-3	6 b	6 c	100,2 b	6 b	10,5 d
RST-4	7 c	6 c	106,8 bc	5 a	10 d
Scintilla	7 c	7 d	109,3 c	6 b	9,5 bc
Scintilla non innestato	7 c	7 d	110,8 c	6 b	10 d

Dalla tabella 3.21 si evince che l'utilizzo di MON-6 (valore 5) ha diminuito la vigoria del nastro rispetto al controllo Scintilla non innestato che ha ottenuto un valore più alto (7) in linea con la maggior parte degli innestati tranne che nei casi intermedi di RST-3 e MON-5A (valore 6). L'innestato più precoce è stato ottenuto con MON-7 (4) mentre i genotipi

più tardivi sono stati i controlli Scintilla innestato su se stesso e Scintilla non innestato i quali entrambi hanno ottenuto il valore 7. L'altezza del nesto più alta è stata ottenuta con l'ausilio dei portainnesti MON-10 (125,7cm) e MON-9 (120,6cm), il più basso con MON-6 (90cm), mentre i controlli hanno ottenuto valori intermedi di 109,3cm per Scintilla innestato su se stesso e 110,8cm per Scintilla non innestato. Aumento di regolarità del frutto è stata registrata con l'uso di MON-8, MON-9 e MON-10 (valore 7) mentre una diminuzione rispetto ai controlli è stata ottenuta con RST-4 (valore 5). Per il diametro del frutto al calice è stata ottenuta solamente una diminuzione con MON-9 (9,5cm) ma non un aumento rispetto ai controlli. I dati ottenuti dimostrano che esiste una interazione diversa con il nesto, dipendente dal genotipo di portainnesto utilizzato.

3.2.5. La prova nell'areale di Battipaglia (Giffoni-Vallepiana), la resistenza a *P. capsici*

L'analisi è stata effettuata calcolando le piante morte di ogni genotipo nei cinque replicati. La figura 3.19 è la rappresentazione grafica della media delle piante morte di tutti i genotipi nei cinque replicati.

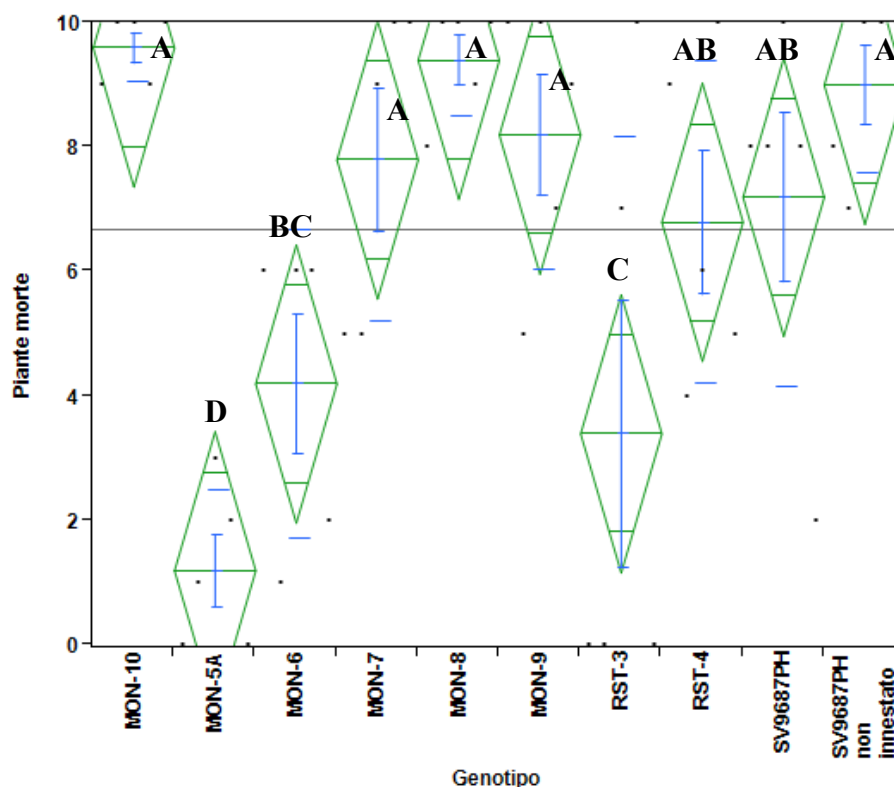


Fig. 3.19 Distribuzione delle medie delle piante morte per *P. capsici* di tutti i genotipi nei cinque replicati, i valori contrassegnati con lettere diverse sono statisticamente differenti per $p=0,05$ (Duncan test)

Tab. 3.22 Analisi della varianza delle piante morte a causa dell'infezione da *P. capsici* di tutti i genotipi nei cinque replicati

Analisi della varianza					
Origine	DF	Somma dei quadrati	Media quadratica	Rapporto F	Prob > F
Genotipo	9	360,48	40,0533	6,5554	<,0001
Errore	40	244,4	6,11		
C. Totale	49	604,88			

Si evince dall'analisi della varianza (Tab. 3.22) che esiste una significatività dell'effetto genotipico tra i replicati ($F=6,55$ $p<0,0001$). Come presentato in figura 3.19 solo i portainnesti MON-5A, MON-6 e RST-3 si posizionano sotto il valore medio della risposta generale di 6,68 di piante morte per parcella in un replicato e, tra questi, MON-5A ha registrato il valore medio di 1,2 piante morte che si è dimostrato il più basso di tutta la prova. Il valore medio più alto è stato ottenuto dal portainnesto MON-10 che con valore di 9,6 si è comportato in maniera simile al controllo SV9687PH non innestato che ha ottenuto 9. Il controllo SV9687PH innestato su se stesso ha ottenuto 7,2 come media di piante morte per replicato. Il test di Duncan dimostra come all'interno del gruppo A appartengano i genotipi a più alto tasso di mortalità (MON-7, MON-8, MON-9, MON-10 e SV9687PH), nel gruppo AB i genotipi RST-4 e il controllo innestato su se stesso, nel gruppo BC il genotipo MON-6, nel gruppo C il genotipo RST-3 e nel gruppo D il solo genotipo MON-5A dimostratosi il più resistente. L'analisi dell'effetto dei replicati sulle risposte genotipiche non ha dimostrato significatività e la figura 3.20 mostra la media delle risposte tra i replicati.

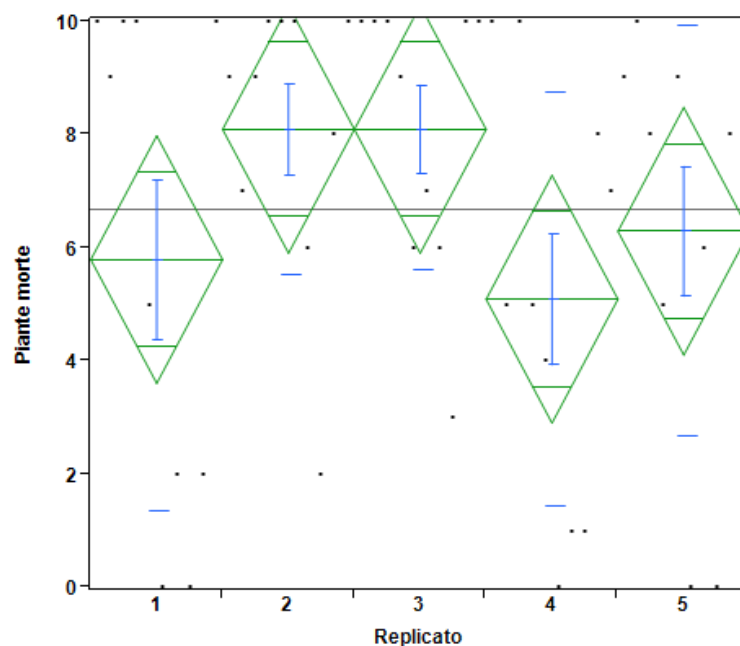


Fig. 3.20 Medie delle piante morte per *P. capsici* registrate in ciascun replicato

3.2.6. La prova nell'areale di Battipaglia (Pontecagnano 2), la prova di affinità

Nella prova di affinità (in serra e su terreno disinfettato) sono stati scelti i quattro portainnesti ritenuti migliori dell'anno 2012 (MON-5A, MON-6, RST-3 e RST-4) e sette varietà di nastro diverse, tre a bacca rossa e quattro a bacca gialla. Sono state effettuate 16 raccolte in un lasso temporale che è andato dal 6 giugno al 25 settembre 2012.

L'analisi della varianza della produzione totale (1a+2a categoria merceologica) condotta con il nastro Almuden (bacca rossa) non ha dimostrato significativa differenza tra l'uso del portainnesto e i controlli, poiché i valori ottenuti sono stati $F=1,43$ e $p<0,3446$ come mostrati in tabella 3.23. L'effetto replicato non si è dimostrato significativo e non esiste differenza di produttività statisticamente significativa tra gli innestati.

Tab. 3.23 Analisi della varianza dell'effetto genotipico sulla produttività del nastro Almuden (1a+2a categoria merceologica)

Analisi della varianza					
Origine	DF	Somma dei quadrati	Media quadratica	Rapporto F	Prob > F
Genotipo	4	0,5587829	0,139696	1,4386	0,3446
Errore	5	0,4855398	0,097108		
C. Totale	9	1,0443227			

La figura 3.21 mostra la distribuzione delle medie di produzione per pianta e la deviazione standard di ciascun genotipo.

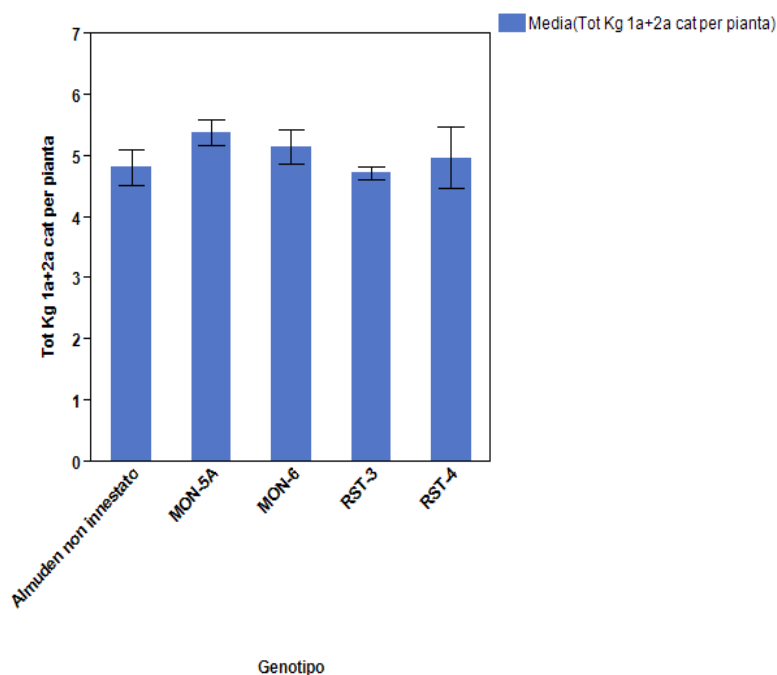


Fig. 3.21 Produzione media e deviazione standard di ciascun genotipo nei due replicati

L'analisi della varianza della produzione totale condotta con il nastro Scintilla (bacca rossa) non si è rivelata significativa, poiché i valori ottenuti sono stati $F=1,99$ e $p<0,23$ come mostrati in tabella 3.24. L'effetto replicato non si è dimostrato significativo e non esiste differenza di produttività statisticamente significativa tra gli innestati.

Tab. 3.24 Analisi della varianza dell'effetto genotipico sulla produttività del nastro Scintilla (1a+2a categoria merceologica)

Analisi della varianza					
Origine	DF	Somma dei quadrati	Media quadratica	Rapporto F	Prob > F
Genotipo	4	2,0067580	0,501689	1,9943	0,2337
Errore	5	1,2577898	0,251558		
C. Totale	9	3,2645478			

La figura 3.22 mostra la distribuzione delle medie di produzione per pianta e la deviazione standard di ciascun genotipo.

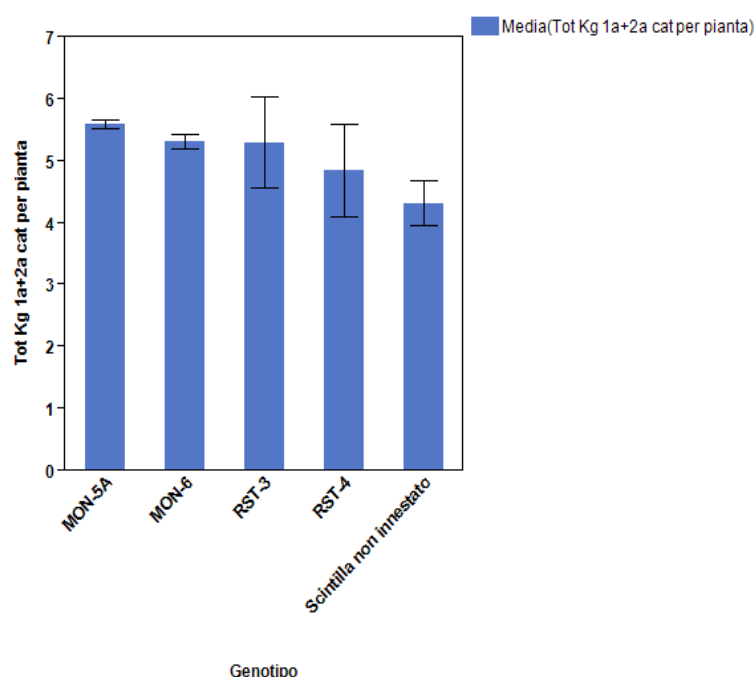


Fig. 3.22 Produzione media e deviazione standard di ciascun genotipo nei due replicati

Un'indicazione interessante è stata però fornita dal confronto diretto tra MON-5A, MON-6 e Scintilla non innestato dove esiste una differenza significativa di produzione come indicato dal valore $F=17,41$ $p<0,0223$ e l'innestato riesce a produrre mediamente il 28% in più del controllo.

L'analisi della varianza della produzione totale condotta con il nesto San Marco (bacca rossa) si è rivelata significativa, poiché i valori ottenuti sono stati $F=5,07$ e $p<0,0522$ come mostrati in tabella 3.25. Quindi l'innestato è mediamente più produttivo del genotipo di controllo. L'effetto replicato non si è dimostrato significativo e non esiste differenza di produttività statisticamente significativa tra gli innestati.

Tab. 3.25 Analisi della varianza dell'effetto genotipico sulla produttività del nesto San Marco (1a+2a categoria merceologica)

Analisi della varianza					
Origine	DF	Somma dei quadrati	Media quadratica	Rapporto F	Prob > F
Genotipo	4	1,3262442	0,331561	5,0736	0,0522
Errore	5	0,3267534	0,065351		
C. Totale	9	1,6529976			

La figura 3.23 mostra la distribuzione delle medie di produzione per pianta e la deviazione standard di ciascun genotipo dove è possibile osservare che l'innestato permette mediamente di ottenere un 23% di produzione in più rispetto al controllo non innestato.

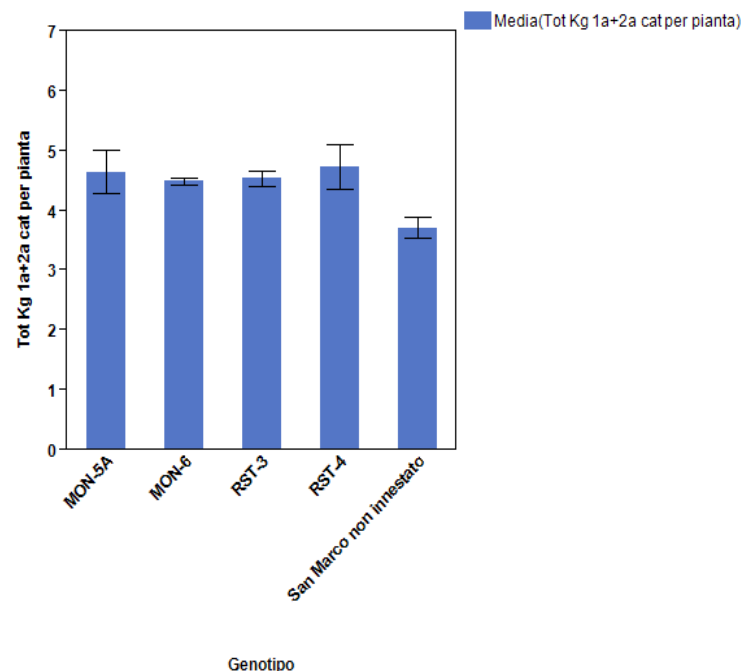


Fig. 3.23 Produzione media e deviazione standard di ciascun genotipo nei due replicati

L'analisi della varianza della produzione totale condotta con il nesto Eppo (bacca gialla) si è rivelata significativa, poiché i valori ottenuti sono stati $F=7,76$ e $p<0,022$ come mostrati in tabella 3.26. In questo caso però è il controllo franco di piede ad essere più produttivo dell'innestato. L'effetto replicato non si è dimostrato significativo e non esiste differenza di produttività statisticamente significativa tra gli innestati.

Tab. 3.26 Analisi della varianza dell'effetto genotipico sulla produttività del nesto Eppo (1a+2a categoria merceologica)

Analisi della varianza					
Origine	DF	Somma dei quadrati	Media quadratica	Rapporto F	Prob > F
Genotipo	4	1,3148251	0,328706	7,7686	0,0226
Errore	5	0,2115602	0,042312		
C. Totale	9	1,5263853			

La figura 3.24 mostra la distribuzione delle medie di produzione per pianta e la deviazione standard di ciascun genotipo dove è possibile osservare che il controllo non innestato ha ottenuto mediamente un 19% di produzione in più rispetto all'innestato sui tutti i genotipi in esame.

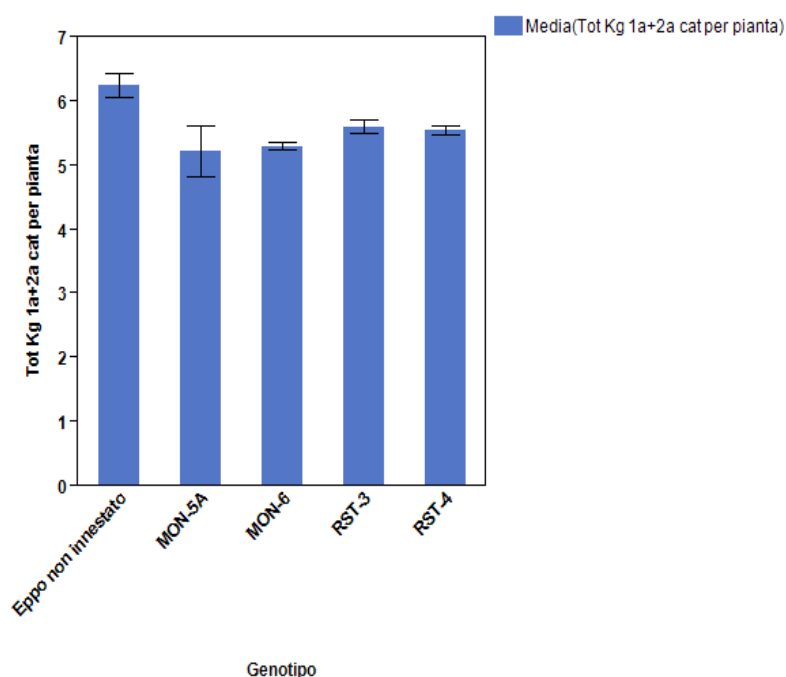


Fig. 3.24 Produzione media e deviazione standard di ciascun genotipo nei due replicati

L'analisi della varianza della produzione totale condotta con il nastro Peppone (bacca gialla) è significativa e l'innestato è più produttivo del genotipo controllo, poiché i valori ottenuti sono stati $F=5,77$ e $p<0,0409$ come mostrati in tabella 3.27. L'effetto replicato non si è dimostrato significativo e non esiste differenza di produttività statisticamente significativa tra gli innestati.

Tab. 3.27 Analisi della varianza dell'effetto genotipico sulla produttività del nastro Peppone (1a+2a categoria merceologica)

Analisi della varianza					
Origine	DF	Somma dei quadrati	Media quadratica	Rapporto F	Prob > F
Genotipo	4	1,1519910	0,287998	5,7711	0,0409
Errore	5	0,2495153	0,049903		
C. Totale	9	1,4015063			

La figura 3.25 mostra la distribuzione delle medie di produzione per pianta e la deviazione standard di ciascun genotipo dove è possibile osservare l'innestato ha prodotto mediamente il 18% in più rispetto al controllo non innestato.

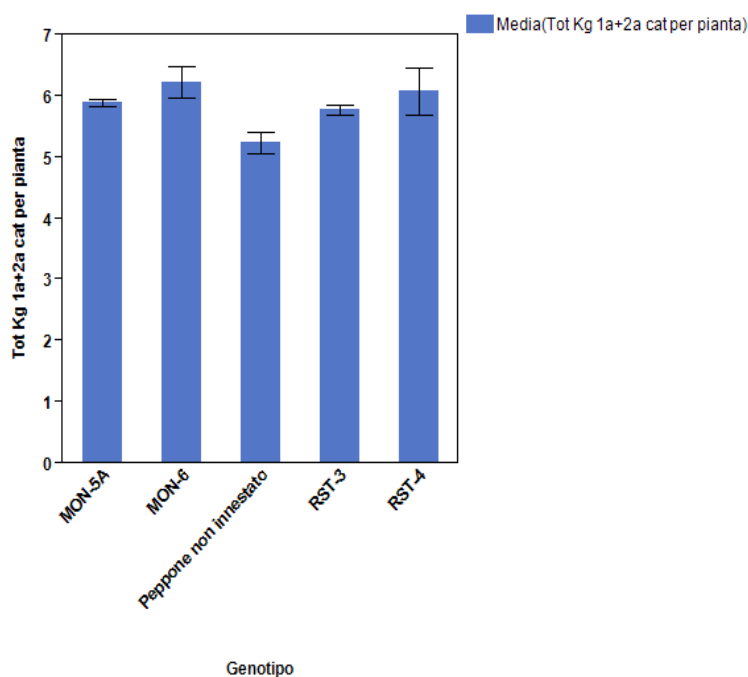


Fig. 3.25 Produzione media e deviazione standard di ciascun genotipo nei due replicati

L'analisi della varianza della produzione totale condotta con il nesto SV9687PH (bacca gialla) non ha dimostrato differenza statisticamente significativa tra l'uso del portainnesto e i controlli, poiché i valori ottenuti sono stati $F=0,75$ e $p<0,5956$ come mostrati in tabella 3.28. L'effetto replicato non si è dimostrato significativo e non esiste differenza di produttività statisticamente significativa tra gli innestati.

Tab. 3.28 Analisi della varianza dell'effetto genotipico sulla produttività del nesto SV9687PH (1a+2a categoria merceologica)

Analisi della varianza					
Origine	DF	Somma dei quadrati	Media quadratica	Rapporto F	Prob > F
Genotipo	4	0,5639359	0,140984	0,7554	0,5956
Errore	5	0,9331949	0,186639		
C. Totale	9	1,4971308			

La figura 3.26 mostra la distribuzione delle medie di produzione per pianta e la deviazione standard di ciascun genotipo.

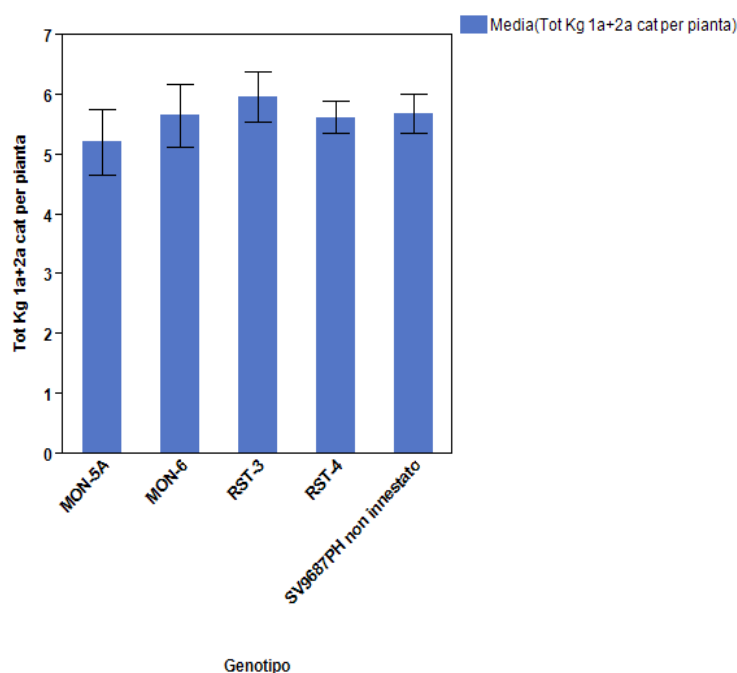


Fig. 3.26 Produzione media e deviazione standard di ciascun genotipo nei due replicati

L'analisi della varianza della produzione totale condotta con il nastro HLG-0010 (bacca gialla) non ha dimostrato differenza statisticamente significativa tra l'innestato e i controlli, poiché i valori ottenuti sono stati $F=1,47$ e $p<0,334$ come mostrati in tabella 3.29. L'effetto replicato non si è dimostrato significativo e non esiste differenza di produttività statisticamente significativa tra gli innestati.

Tab. 3.29 Analisi della varianza dell'effetto genotipico sulla produttività del nastro HLG-0010 (1a+2a categoria merceologica)

Analisi della varianza					
Origine	DF	Somma dei quadrati	Media quadratica	Rapporto F	Prob > F
Genotipo	4	2,2347224	0,558681	1,4789	0,3344
Errore	5	1,8888133	0,377763		
C. Totale	9	4,1235357			

La figura 3.27 mostra la distribuzione delle medie di produzione per pianta e la deviazione standard di ciascun genotipo.

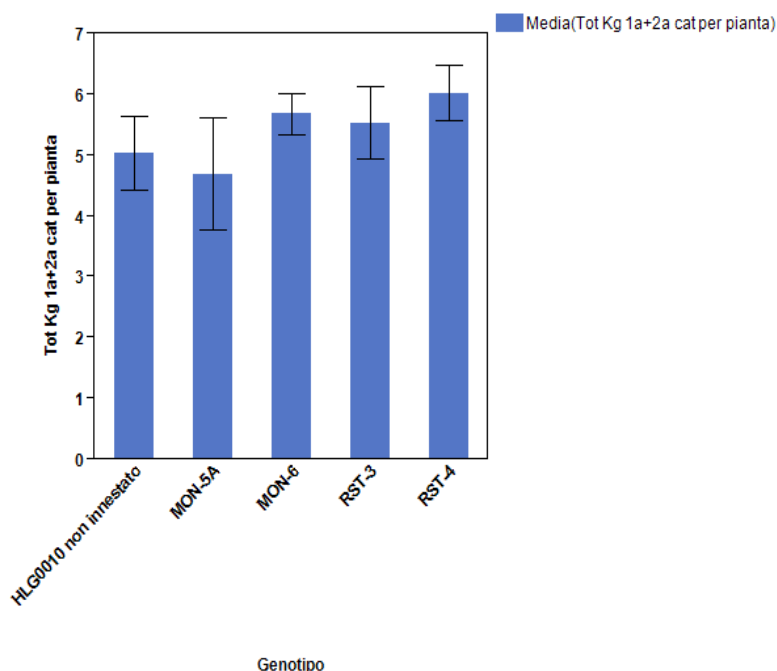


Fig. 3.27 Produzione media e deviazione standard di ciascun genotipo nei due replicati

L'analisi di affinità condotta in questa prova ha dimostrato che, su terreno non infetto, esiste una differente interazione nastro dipendente che si ripercuote sulla produttività e sulla variabilità produttiva finale dell'innestato stesso.

3.3. Le prove agronomiche in campo nell'anno 2013

Nell'anno 2013 sono state effettuate due prove sperimentali, per produzione e fenomorfologia, in due areali diversi: l'areale di Fondi e quello di Battipaglia. In quest'anno sono stati riproposti i portainnesti migliori dell'anno 2012 (MON-5A, MON-6, MON-9, RST-3 e RST-4) e aggiunti otto di nuovi per un totale di tredici portainnesti in esame. Le prove sono state condotte in serra su terreni precedentemente disinfettati.

3.3.1. La prova nell'areale di Fondi, le valutazioni agronomiche

Sono state effettuate otto raccolte in un periodo temporale che è andato dal 24 giugno al 18 settembre 2013. Come mostrato nella tabella 3.30 il valore $F=2,14$ per la produzione totale di prima e seconda categoria non dimostra significativa differenza statistica ($p<0,0773$). Allo stesso modo i valori della produzione di seconda categoria e per lo scarto non hanno mostrato significativa differenza statistica. Solo la produzione di prima categoria con valore $F=2,91$ e $p<0,02$ ha dimostrato una significativa differenza statistica. L'effetto dei replicati non si è dimostrato significativo.

Tab 3.30 Analisi della varianza sulla produzione (suddivisa in categorie merceologiche di prodotto) di tutti i genotipi nei due replicati

Dato analizzato	DF	Rapporto F	Prob>F
Kg 1a+2a cat	14	2,14	0,0773
Kg 1a cat	14	2,91	0,0243
Kg 2a cat	14	0,79	0,6677
Scarto	14	1,10	0,4203

Nonostante i valori non incoraggianti ottenuti dall'analisi statistica il miglior valore di produzione totale (somma di prima e seconda categoria) è stato ottenuto dall'innestato su MON-5A con 5,98Kg per pianta seguito dall'innestato su RST-3 (5,80Kg) e dall'innestato su MON-6 con 5,78Kg per pianta, mentre la più bassa produzione è stata ottenuta dall'innestato su MON-17 (3,97Kg), rivelatosi il genotipo meno produttivo dell'intera prova. Il controllo non innestato e innestato su se stesso hanno prodotto rispettivamente 5,05Kg e 4,61Kg per pianta. Analizzando la produzione di prima categoria l'innestato MON-5A è nuovamente il più produttivo in assoluto con 5,42Kg mentre Scintilla non

innestato e innestato su se stesso hanno prodotto rispettivamente 4,29Kg e 4,19Kg per pianta. Il genotipo meno produttivo in assoluto si è dimostrato MON-17 con soli 3,60Kg prodotti. Per quanto riguarda la produzione di seconda categoria il genotipo controllo Scintilla non innestato si è dimostrato il più produttivo con 0,75Kg per pianta, mentre il controllo innestato ha prodotto 0,42Kg mentre in assoluto il meno produttivo è stato l'innestato su MON-17 con 0,36Kg per pianta. Lo scarto più basso è stato ottenuto da MON-17 (0,18Kg), quello più alto da MON-6 (0,45Kg), il controllo non innestato e innestato su se stesso hanno prodotto rispettivamente 0,41Kg e 0,23Kg di scarto per pianta. La figura 3.28 è la rappresentazione grafica delle produzioni di tutti i genotipi suddivise nelle quattro categorie merceologiche.

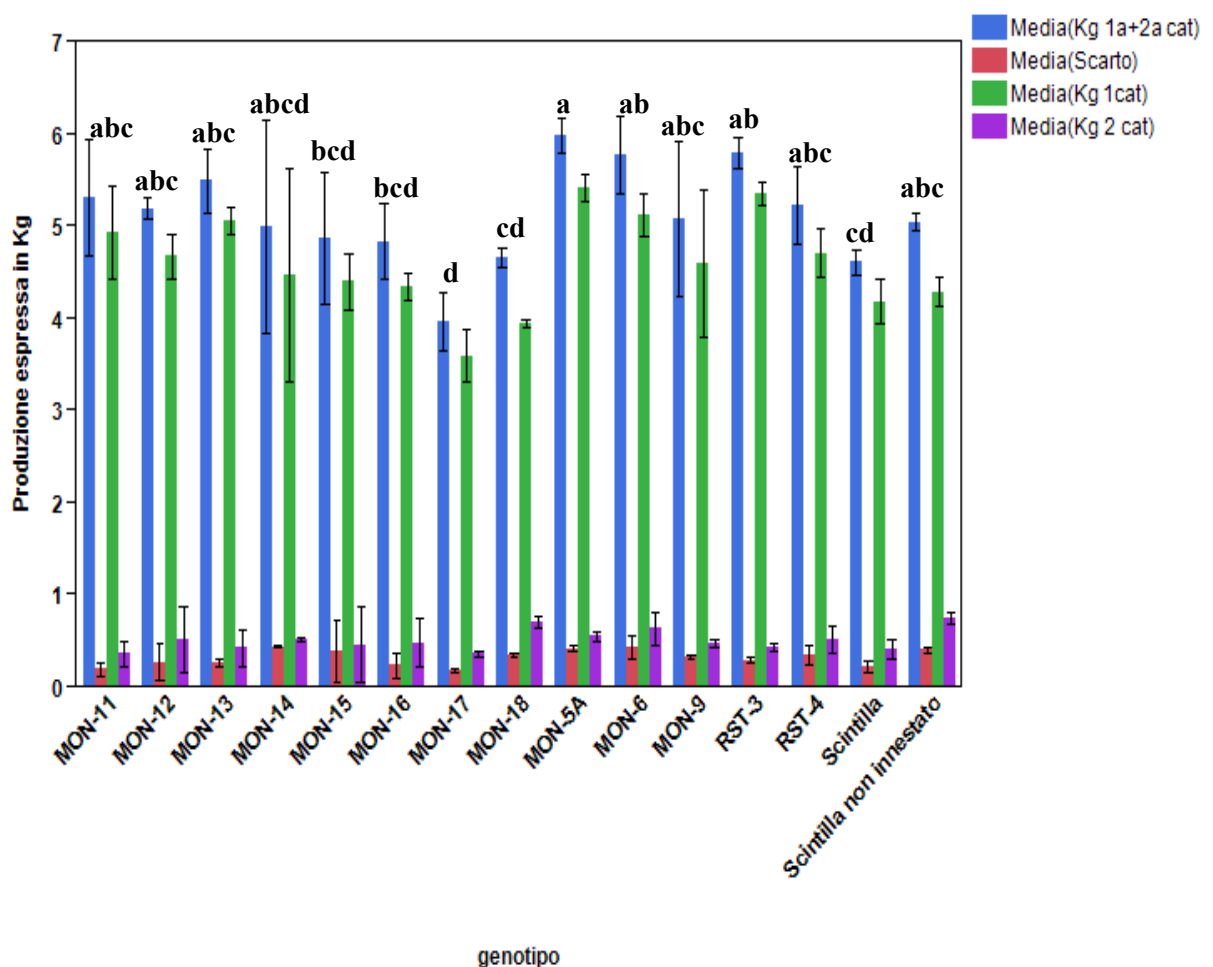


Fig. 3.28 Produzione media per pianta dei genotipi tra i due replicati suddivisa in categorie merceologiche, i valori contrassegnati con lettere diverse sono statisticamente differenti per $p=0,05$ (Duncan test)

Il confronto diretto tra i genotipi più produttivi della prova (MON-5A, MON-6 e RST-3) e i controlli ha evidenziato, al contrario dell'analisi concernente tutti i genotipi, una differente produzione totale (statisticamente significativa) con valori di $F=13,02$ e

$p < 0,0075$. L'analisi sulla produzione di prima categoria ha avvalorato la significatività del dato generale ($F=20,33$ $p < 0,0027$), mentre per la produzione di seconda categoria ($F=3,95$ $p < 0,08$) e scarto ($F=4,11$ $p < 0,07$) il dato statistico può essere significativo solo aumentando il livello minimo di significatività a $p=0,10$.

Tab 3.31 Valori medi (tra i due replicati) di produzione per pianta dei genotipi eletti espressa in Kg (1a+2a cat) $\pm \sigma$

Genotipo	giugno	luglio	agosto	settembre	Totale
MON-5A	0,61 $\pm 0,04$	2,85 $\pm 0,06$	1,41 $\pm 0,08$	1,11 $\pm 0,07$	5,98 $\pm 0,19$
RST-3	0,69 $\pm 0,07$	2,45 $\pm 0,06$	1,22 $\pm 0,05$	1,44 $\pm 0,04$	5,8 $\pm 0,16$
MON-6	0,32 $\pm 0,12$	2,14 $\pm 0,16$	1,21 $\pm 0,13$	2,11 $\pm 0,18$	5,78 $\pm 0,41$
Scintilla non innestato	0,53 $\pm 0,04$	2,35 $\pm 0,02$	1,04 $\pm 0,03$	1,13 $\pm 0,06$	5,05 $\pm 0,08$
Scintilla	0,32 $\pm 0,06$	2,58 $\pm 0,05$	0,7 $\pm 0,06$	1,01 $\pm 0,04$	4,61 $\pm 0,14$

A fronte di ciò, i dati produttivi totali dei genotipi eletti (sull'intero ciclo produttivo, Tab. 3.31) dimostrano che l'innestato su RST-3 è il più precoce avendo prodotto a giugno 0,69Kg per pianta contro i 0,53Kg di Scintilla non innestato e 0,32Kg per pianta di Scintilla innestato su se stesso. Sommando la produzione nei primi due mesi, l'innestato su MON-5A si è dimostrato il più produttivo con 3,19Kg a pianta a fronte dei 2,88Kg del controllo non innestato e dei 2,90Kg del controllo innestato su se stesso. Anche per produzione totale l'innestato su MON-5A ha garantito la produzione massima con 5,98Kg per pianta, producendo mediamente il 18% in più del controllo non innestato.

3.3.2. La prova nell'areale di Fondi, l'analisi fenomorfológica

L'analisi fenomorfológica effettuata sui genotipi ha coinvolto venti caratteristiche riguardanti la pianta e la bacca prodotta dal nesto in relazione al portainnesto utilizzato. Tra queste caratteristiche quelle discriminanti per la pianta sono state l'architettura, il vigore, la precocità e l'altezza mentre per quanto riguarda la bacca sono state la regolarità della forma, la durezza, la liscezza, la larghezza, e la lunghezza. I dati ottenuti (tabella 3.32) evidenziano uno spostamento dall'architettura media della pianta del controllo non innestato ad una molto aperta con l'ausilio dei portainnesti MON-11, MON-12, MON-17, MON-6, MON-9 e RST-3. Per quanto riguarda il vigore, il controllo non innestato insieme all'innestato su MON-11 hanno presentato l'indice più alto (8) mentre il nesto meno vigoroso è stato ottenuto con l'ausilio dei portainnesti MON-14 e MON-15 che hanno

ottenuto l'indice di 4. L'indice di maggiore precocità invece, come indicato dai dati di produzione, è stato ottenuto con l'uso del portainnesto MON-6 e RST-3 (4) i genotipi più tardivi sono stati l'innestato su MON-11 e MON-15 (8), mentre il controllo non innestato e innestato su se stesso hanno ottenuto un valore intermedio di 6. L'altezza massima è stata raggiunta dall'innestato su MON-11 (140cm) seguito dal controllo non innestato (135cm) mentre il nesto più basso è stato quello su MON-14 e MON-5A con 110cm a 120 giorni dal trapianto. Generalmente i portainnesti hanno abbassato la regolarità del frutto ed infatti solo l'innestato su RST3, il controllo non innestato e innestato su se stesso hanno ottenuto l'indice di regolarità più elevato (7). Allo stesso modo i controlli, insieme all'innestato su RST-3, hanno prodotto i frutti più duri (7) mentre quelli che hanno ottenuto l'indice più basso sono stati i frutti prodotti dall'innestato su MON-13 (4). Per quanto riguarda la liscchezza solo l'innestato su MON-12 ha ottenuto un valore più basso rispetto a tutti gli altri genotipi. Analizzando le dimensioni dei frutti prodotti, quelli che al calice hanno ottenuto le misure maggiori sono stati quelli dell'innestato su MON-5A (12cm), mentre quelli dalla larghezza inferiore sono stati prodotti dall'innestato su RST-3 (9cm). I frutti più lunghi sono stati registrati sull'innestato MON-6 (16cm) mentre i più corti sono stati ottenuti con l'utilizzo del portainnesto MON-14 (12,3cm).

Tab 3.32 Caratteristiche quali-quantitative del nesto in relazione ai genotipi utilizzati, i valori contrassegnati con lettere diverse appartengono a classi differenti per $p=0,05$ (Duncan test)

Portainnesto	Architettura del nesto	Vigore del nesto	Precocità del nesto	Altezza del nesto (dopo 120gg)	Regolarità del frutto	Durezza del frutto	Liscchezza del frutto	Larghezza del frutto al calice (cm)	Lunghezza del frutto (cm)
MON-11	V c	8 e	8 e	140 e	6 b	5 b	6	9,6 ab	15 c
MON-12	V c	7 d	5 b	128 de	5 a	5 b	5 a	10 b	14 b
MON-13	M a	6 c	6 c	120 c	5 a	4 a	6	10,4 c	15 c
MON-14	O b	4 a	5 b	110 a	6 b	6 c	6	9,8 b	12,3 a
MON-15	O b	4 a	8 e	113,5 ab	6 b	5 b	6	11 d	14 b
MON-16	M ab	5 b	6 c	120,5 c	6 b	6 c	6	11 d	14,5 bc
MON-17	V c	7 d	6 c	130 d	6 b	6 c	6	10 b	15,5 cd
MON-18	M ab	6 cd	7 d	122,5 cd	6 b	6 c	6	9,6 ab	15 c
MON-5A	M ab	5 b	5 ab	110 a	6 b	5 b	6	12 e	15,8 cd
MON-6	V c	7 d	4 a	125 d	6 b	6 c	6	9,4 a	16,6 e
MON-9	V c	7 d	7 d	132 d	6 b	6 c	6	11 d	16 d
RST-3	V c	6 c	4 a	120 c	7 c	7 d	6	9 a	16,4 de
RST-4	M a	5 b	7 d	115 b	6 b	6 c	6	10,2 bc	16 d
Scintilla	M a	7 de	6 c	132 d	7 c	7 d	6	10,4 c	16 d
Scintilla non innestato	M a	8 e	6 c	135 d	7 c	7 d	6	10,4 c	16,2 d

3.3.3. La prova nell'areale di Battipaglia (Pontecagnano 1), le valutazioni agronomiche

Sono state effettuate otto raccolte in un periodo temporale che è andato dal 18 luglio al 27 settembre 2013. Come mostrato in tabella 3.33 l'analisi per categorie merceologiche ha dimostrato significatività per quanto riguarda la somma tra prima e seconda categoria ($F=27,87$ $p<0,0001$), per la prima categoria ($F=29,41$ $p<0,0001$), seconda categoria e scarto, rispettivamente con valori $F=42,05$ e $F=23,99$ ed entrambe $p<0,0001$. L'effetto dei replicati non è risultato significativo.

Tab 3.33 Analisi della varianza sulla produzione (suddivisa in categorie merceologiche di prodotto) di tutti i genotipi nei due replicati

Dato analizzato	DF	Rapporto F	Prob>F
Kg 1a+2a cat	14	27,87	0,0001
Kg 1a cat	14	29,41	0,0001
Kg 2a cat	14	42,05	0,0001
Scarto	14	23,99	0,0001

Analizzando la produttività totale come la somma della prima e seconda categoria il genotipo più produttivo si è dimostrato l'innestato su MON-14 con 5,77Kg per pianta seguito dall'innestato su MON-12 con 5,65Kg per pianta. Questi due genotipi di portainnesto sono stati gli unici che hanno permesso al nesto di superare per produzione, anche se solo del 2,6%, il controllo franco di piede che ha ottenuto 5,62Kg per pianta. I portainnesti riproposti dall'anno precedente hanno ottenuto produzioni inferiori al controllo non innestato confermando altresì i dati ottenuti nella prova di affinità con la stessa varietà Eppo usata come nesto che, infatti, innestato su MON-5A ha prodotto 4,85Kg per pianta, RST-3 4,73Kg, MON-6 4,33Kg e RST-4 solo 4,06Kg per pianta. Il controllo innestato su se stesso ha invece prodotto 5,09Kg per pianta. La produzione più bassa in assoluto è stata ottenuta dall'innestato su MON-16 con soli 2,56Kg per pianta, dimostrando quindi un'interazione nesto-portainnesto estremamente negativa. La perdita di produzione con l'utilizzo di questo portainnesto è stata, infatti, del 119%. Anche per la prima categoria solo l'innestato su MON-14 (5,52Kg) ha ottenuto una produzione maggiore (per pianta) rispetto al controllo franco di piede che ha prodotto 5,43Kg per pianta. La produzione di prima categoria ottenuta dal controllo innestato su se stesso è stata di 4,95Kg per pianta. La più bassa produzione è stata ottenuta dall'innestato su

MON-16 con soli 2,42Kg per pianta. Per quanto riguarda la massima produzione di seconda categoria essa è stata ottenuta dall'innestato su MON-5A con 0,35Kg per pianta. Il controllo non innestato e innestato su se stesso hanno ottenuto rispettivamente 0,18Kg e 0,15Kg per pianta. In assoluto però, la produzione di seconda categoria più bassa è stata ottenuta dall'innestato su MON-16 con 0,14Kg per pianta. Lo scarto maggiore è stato ottenuto dall'innestato su MON-13 (0,25Kg) mentre quello più basso dall'innestato su MON-16 con 0,04Kg per pianta. Eppo non innestato ed innestato su se stesso hanno prodotto rispettivamente 0,14Kg e 0,10Kg di scarto per pianta. La figura 3.29 è la rappresentazione grafica della produzione media per pianta di tutti i genotipi in esame (tra i due replicati) suddivisa per categoria merceologica.

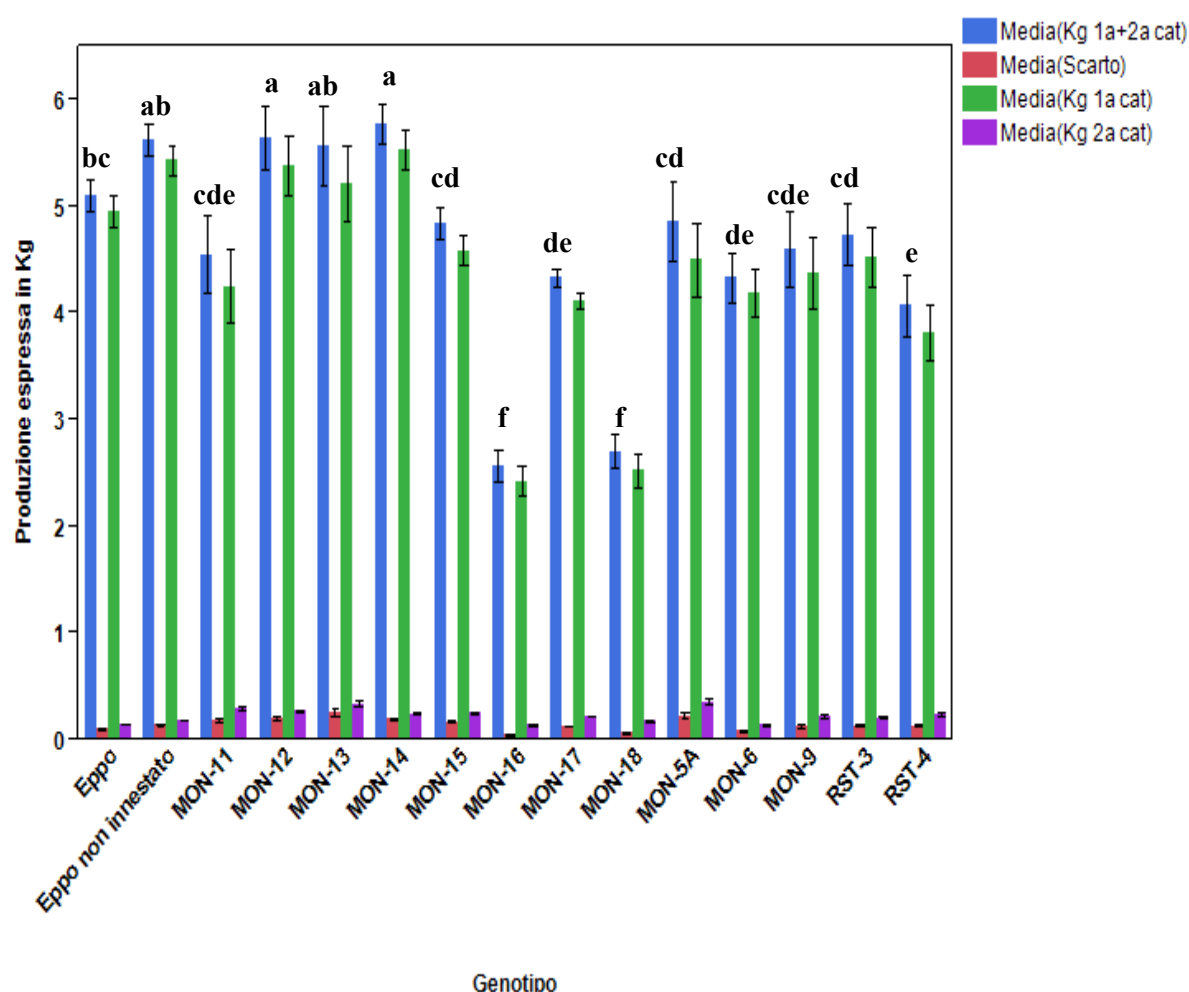


Fig. 3.29 Produzione media per pianta dei genotipi tra i due replicati suddivisa in categorie merceologiche, i valori contrassegnati con lettere diverse sono statisticamente differenti per $p=0,05$ (Duncan test)

In tabella 3.34 sono riportati i valori di produzione dei genotipi migliori del 2012, i controlli e i genotipi più produttivi della prova. Come si evince dai dati produttivi di

luglio, l'innestato su MON-14 si è dimostrato il più precoce tra tutti con una produzione di 2,43Kg per pianta mentre la produzione più bassa è stata ottenuta con l'innestato su MON-6 (1,76Kg). Il controllo non innestato e il controllo innestato su se stesso hanno ottenuto rispettivamente 2,20Kg e 2,11Kg di poco inferiore al genotipo più produttivo. Sommando invece la produzione di luglio e agosto l'innestato su MON-12 si è dimostrato il più produttivo con 3,89Kg per pianta, il meno produttivo è stato l'innestato su RST-4 con 2,72Kg mentre il controllo non innestato e innestato su se stesso hanno prodotto rispettivamente 3,54Kg e 3,26Kg per pianta. La produzione totale più alta è stata ottenuta dall'innestato su MON-14 con 5,77Kg che ha prodotto circa il 3% in più di Eppo non innestato (5,61Kg per pianta) mentre la produzione più bassa (4,18Kg) l'ha ottenuta l'innestato su RST-4. I valori $F=10,37$ con $p<0,0010$ dimostrano che le differenze produttive tra i genotipi eletti sono statisticamente significative.

Tab 3.34 Valori medi (tra i due replicati) di produzione per pianta dei genotipi eletti espressa in Kg (1a+2a cat) $\pm\sigma$

Genotipo	luglio	agosto	settembre	Totale
Eppo	2,11 \pm 0,06	1,15 \pm 0,04	1,82 \pm 0,05	5,08 \pm 0,14
Eppo non innestato	2,20 \pm 0,05	1,34 \pm 0,03	2,07 \pm 0,06	5,61 \pm 0,16
MON-12	1,84 \pm 0,09	2,05 \pm 0,10	1,75 \pm 0,09	5,64 \pm 0,29
MON-14	2,43 \pm 0,08	1,15 \pm 0,03	2,19 \pm 0,07	5,77 \pm 0,19
MON-5A	2,01 \pm 0,15	1,36 \pm 0,10	1,47 \pm 0,11	4,84 \pm 0,37
MON-6	1,76 \pm 0,09	0,63 \pm 0,03	1,93 \pm 0,10	4,32 \pm 0,23
MON-9	2,00 \pm 0,15	0,91 \pm 0,07	1,67 \pm 0,12	4,58 \pm 0,35
RST-3	2,01 \pm 0,12	0,95 \pm 0,05	1,76 \pm 0,10	4,73 \pm 0,28
RST-4	1,81 \pm 0,12	0,91 \pm 0,05	1,46 \pm 0,10	4,18 \pm 0,26

3.3.4. La prova nell'areale di Battipaglia (Pontecagnano 1), l'analisi fenomorfológica

L'analisi effettuata sui genotipi ha coinvolto venti caratteristiche fenomorfológicas riguardanti la pianta e la bacca prodotta dal nesto in relazione al portainnesto utilizzato. Le caratteristiche discriminanti analizzate sono state le stesse della prova di Fondi e in tabella 3.35 sono registrati i dati ottenuti. Per quanto riguarda l'architettura della pianta è stato osservato come tutti i portainnesti, tranne MON-11 e MON-12, modifichino la pianta aperta del genotipo controllo in una pianta media e quindi più chiusa. Il vigore del nesto ne subisce una diminuzione rispetto al controllo non innestato (con valore 8) quando è

innestato su tutti i portainnesti tranne nel caso di MON-6, MON-11 e MON-12 che lo mantengono inalterato. L'aumento di precocità è stato ottenuto dall'innestato su MON-14 (4) seguito dall'innestato su MON-12 e MON-13 (5) mentre il controllo non innestato e innestato su se stesso hanno ottenuto entrambi l'indice 6. L'altezza massima è stata raggiunta dal controllo non innestato (134cm) mentre il nastro più basso è stato ottenuto con l'utilizzo del portainnesto MON-16 e MON-18 (105cm). Per quanto riguarda la durezza, liscezza e regolarità del frutto, i portainnesti non hanno portato variazioni se non nel caso dell'innestato su MON-6 che ha ottenuto un indice più alto (7) per la regolarità. I frutti più larghi al calice sono stati ottenuti dall'innestato su MON-13 (10,4cm) e MON-5A (10,2cm) che hanno aumentato il calibro del frutto rispetto al controllo non innestato e innestato su se stesso che hanno prodotto frutti con calibri rispettivamente di 9,4 e 9,2cm. La lunghezza massima del frutto è stata ottenuta innestando su MON-13 (14,6cm), MON-16 (14,4cm), MON-18 (14,4cm) e dal controllo non innestato con frutti lunghi 14,4cm, mentre i frutti più corti in assoluto (12,6cm) sono stati ottenuti dall'innestato MON-14.

Tab 3.35 Caratteristiche quali-quantitative del nastro in relazione ai genotipi utilizzati, valori contrassegnati con lettere diverse appartengono a classi differenti per $p=0,05$ (Duncan test)

Portainnesto	Architettura del nastro	Vigore del nastro	Precocità del nastro	Altezza del nastro (dopo 120gg)	Regolarità del frutto	Durezza del frutto	Liscezza del frutto	Larghezza del frutto al calice (cm)	Lunghezza del frutto (cm)
Eppo	V b	7 b	6 c	130 e	6	6	6	9,2 b	14,2 bc
Eppo non innestato	V b	8 c	6 c	134 e	6	6	6	9,4 b	14,4 c
MON-11	V b	8 c	7 d	130 e	6	6	6	9,8 c	13,6 b
MON-12	V b	8 c	5 ab	130 e	6	6	6	9,7 bc	14,1 b
MON-13	M a	6 a	5 ab	118 cd	6	6	6	10,4 d	14,6 c
MON-14	M a	6 a	4 a	120 d	6	6	6	9,1 a	12,6 a
MON-15	M a	6 a	8 e	108 ab	6	6	6	9,5 b	13,8 b
MON-16	M a	6 a	9 ef	105 a	6	6	6	9,2 a	14,4 c
MON-17	M ab	6 a	8 e	110 b	6	6	6	9,4 ab	14,2 bc
MON-18	M a	6 a	9 ef	105 a	6	6	6	9,2 a	14,4 c
MON-5A	M ab	7 b	6 c	122 d	6	6	6	10,2 d	14,1 b
MON-6	M ab	8 c	8 de	122 d	7 b	6	6	9,8 cd	13,2 ab
MON-9	M a	6 a	6 c	120 d	6	6	6	9,7 c	13,8 b
RST-3	M a	6 a	8 de	110 b	6	6	6	9,2 a	14 b
RST-4	M ab	7 b	8 de	115 c	6	6	6	9,5 b	14 b

3.4 Produzione e valutazione di progenie BC1F1, BC2F1 resistenti a *F. solani*

Dai risultati ottenuti dalle prove del 2011 eseguite nella zona di Battipaglia e Fondi, dove era conclamata la presenza di *P. capsici* e *M. incognita* nelle aziende in esame, le varietà MON-5A e MON-5B si sono rivelate altamente resistenti ai patogeni su elencati. A seguito di analisi effettuate in collaborazione con l'ENSE di Battipaglia sulle piante di portainnesto morte per altre patologie fungine, è stata riscontrata la presenza di *Fusarium solani*. Per far fronte a questa nuova esigenza le resistenze a *P. capsici* e *M. incognita* sono state integrate con quella a *Fusarium solani* producendo popolazioni BC1F1 e BC2F1. I risultati del test di patogenicità al *Fusarium solani* della BC1F1 effettuati ad agosto 2012 (Tab. 3.36) hanno dimostrato sia sulla popolazione derivante dall'incrocio F1-A x MON-5A sia in quella derivante da F1-B x MON-5B la segregazione resistenti:suscettibili di 1:1. Da questa prima analisi di segregazione si evince che la resistenza a *Fusarium* è dominante e in omozigosi nel parentale FUS-1.

Tabella 3.36 Risultati del test di patogenicità al *Fusarium solani* sulle popolazioni BC1F1

Pedigree	Popolazione	N° piante inoculate	N° di piante resistenti	N° piante suscettibili	% di piante resistenti
F1-AxMON-5A	A1	32	18	14	56.25
F1-AxMON-5A	A2	32	15	17	46.875
F1-AxMON-5A	A3	32	16	16	50
F1-AxMON-5A	A4	32	18	14	56.25
F1-AxMON-5A	A5	32	17	15	53.125
F1-AxMON-5A	A6	32	16	16	50
F1-AxMON-5A	A7	32	14	18	43.75
F1-AxMON-5A	A8	32	18	14	56.25
F1-AxMON-5A	A9	32	17	15	53.125
F1-AxMON-5A	A10	32	15	17	46.875
F1-BxMON-5B	B1	32	18	14	56.25
F1-BxMON-5B	B2	32	16	16	50
F1-BxMON-5B	B3	32	15	17	46.875
F1-BxMON-5B	B4	32	15	17	46.875
F1-BxMON-5B	B5	32	17	15	53.125
F1-BxMON-5B	B6	32	18	14	56.25
F1-BxMON-5B	B7	32	16	16	50
F1-BxMON-5B	B8	32	14	18	43.75
F1-BxMON-5B	B9	32	18	14	56.25
F1-BxMON-5B	B10	32	16	16	50
Yolo Wonder B	YWB1	32	0	32	0
FUS-1	FUS-1	32	32	0	100

Per ogni popolazione testata, in ottobre 2012, sono state selezionate due piante resistenti che non hanno mostrato nessun sintomo di imbrunimento del capillizio e dei vasi interni xilematici. Esse sono state reincrociate per i rispettivi parentali ricorrenti MON-5A e

MON-5B per l'ottenimento delle seguenti popolazioni BC2F1-(A1-10) e BC2F1-(B1-10). I risultati del test di patogenicità al *Fusarium solani* della progenie BC2F1 (Tab. 3.37) hanno confermato la segregazione 1:1 della BC1F1.

Tabella 3.37 Risultati del test di patogenicità al *Fusarium solani* sulle popolazioni BC2F1

Pedigree	Popolazione	N° piante inoculate	N° di piante resistenti	N° piante suscettibili	% di piante resistenti
BC1F1-A1xMON-5A	A1	32	16	16	50
BC1F1-A2xMON-5A	A2	32	18	14	56.25
BC1F1-A3xMON-5A	A3	32	14	18	43.75
BC1F1-A4xMON-5A	A4	32	14	18	43.75
BC1F1-A5xMON-5A	A5	32	15	17	46.875
BC1F1-A6xMON-5A	A6	32	16	16	50
BC1F1-A7xMON-5A	A7	32	18	14	56.25
BC1F1-A8xMON-5A	A8	32	16	16	50
BC1F1-A9xMON-5A	A9	32	15	17	46.875
BC1F1-A10xMON-5A	A10	32	14	18	43.75
BC1F1-B1xMON-5B	B1	32	16	16	50
BC1F1-B2xMON-5B	B2	32	16	16	50
BC1F1-B3xMON-5B	B3	32	14	18	43.75
BC1F1-B4xMON-5B	B4	32	17	15	53.125
BC1F1-B5xMON-5B	B5	32	18	14	56.25
BC1F1-B6xMON-5B	B6	32	18	14	56.25
BC1F1-B7xMON-5B	B7	32	14	18	43.75
BC1F1-B8xMON-5B	B8	32	15	17	46.875
BC1F1-B9xMON-5B	B9	32	16	16	50
BC1F1-B10xMON-5B	B10	32	18	14	56.25
Yolo Wonder B	YWB1	32	0	32	0
FUS-1	FUS-1	32	32	0	100

Per ogni popolazione testata, in ottobre 2013, sono state selezionate due piante resistenti che non hanno mostrato nessun sintomo di imbrunimento del capillizio e dei vasi interni xilematici. Esse, reincrociate per i rispettivi parentali ricorrenti MON-5A e MON-5B, hanno generato le piante delle popolazioni BC3F1-(A1-10) e BC3F1-(B1-10). Tali piante sono state portate a seme nel gennaio 2014. Le popolazioni ottenute saranno destinate ad una prova di valutazione fenotipica comparando i fenotipi MON-5A e MON-5B con le rispettive popolazioni BC3F1.

4. DISCUSSIONE

Le specie del genere *Capsicum*, dopo l'introduzione in Europa con il ritorno di Cristoforo Colombo dalle Americhe, si sono diffuse in tutto il mondo. Ad oggi infatti in ogni continente è possibile la produzione di bacche di peperone, piccanti e non, attraverso l'ausilio delle tecniche più moderne, come in Olanda, oppure attraverso le pratiche agricole più classiche come ad esempio nel continente Africano. Questa diffusione così estesa a livello mondiale permette una produzione totale di bacche di oltre 34 milioni di tonnellate (FAOSTAT, 2014). Tale cifra però, se confrontata con le produzioni di altre solanacee quali per esempio quella del pomodoro (oltre 160 milioni di tonnellate) o della melanzana (oltre 48 milioni di tonnellate) (FAOSTAT, 2014), evidenzia una forte differenza. Questo dato però non deve trarre in inganno poiché le specie del genere *Capsicum*, tra le solanacee, sono quelle più esigenti dal punto di vista pedoclimatico e sono quindi di più difficile coltivazione. A parte alcune eccezioni (es. *C. pubescens* che ben si adatta a climi freddi e alle elevate altitudini), *C. annuum* è tra le specie di *Capsicum* la più coltivata ma anche la più esigente, poiché richiede una temperatura diurna ottimale compresa tra 24 °C e 26 °C e notturna di 14-18 °C. Al di sotto dei 15 °C l'attività vegetativa è ridotta e se le temperature scendono sotto 4 °C la pianta muore (Caruso, 1990). *C. annuum* richiede inoltre un terreno drenante a medio impasto con annaffiature regolari e mai eccessive. Oltre però alle esigenze su elencate come tutte le specie ortive anche quelle del *Capsicum* sono soggette a fitopatie abiotiche e biotiche. Per affrontare ed evitare il sorgere di fitopatie abiotiche è necessario fornire alle piante in coltura una concimazione che bilanci l'apporto di macro e micro elementi attraverso un attento programma e monitoraggio delle annaffiature, una adeguata protezione dal caldo eccessivo e da raggi solari diretti (per esempio in coltivazioni in serra), una scacchiatura adeguata per favorire l'aerazione e il bilanciamento fenologico frutto-foglia della pianta stessa (Russo, 2012). Invece, per quanto riguarda le fitopatie biotiche, il problema può rivelarsi ancora più complesso e cruciale. Molto spesso, e nonostante le accortezze da parte dell'agricoltore sotto il punto di vista nutrizionale e colturale, la coltivazione di *Capsicum* può subire gravi perdite a causa di fitopatie dovute a virus, batteri, funghi, nematodi e insetti fitofagi. I produttori, per far fronte a tali fitopatie, possono avvalersi di un'ampia gamma di interventi. Solitamente per il controllo degli insetti fitofagi e per l'abbattimento di insetti vettori si usano composti chimici quali per esempio la spinosina contro il tripide *Frankliniella occidentalis* (vettore del TSWv), piretroidi per l'aleurodide *Trialeurodes vaporariorum* oppure acaricidi per l'abbattimento dell'acaro *Tetranychus urticae*. In

ambiti di lotta biologica, invece, vengono usati lanci di *Orius laevigatus* come predatore naturale della *F. occidentalis*, oppure *Encarsia formosa* o *Amblyseius swirskii* per abbattere le popolazioni di *T. vaporariorum*. Per quanto riguarda il trattamento del terreno e il contenimento dei patogeni tellurici si utilizzano trattamenti chimici fumiganti quali dazomet, metham sodio e cloropicrina, anche se dopo l'abolizione nel 2005 del bromuro di metile, l'abolizione del 1,3-dicloropropene a febbraio 2009 ed il continuo bando dei trattamenti chimici sanificanti del terreno (Colla *et al.*, 2012) sempre di più si stanno cercando soluzioni alternative ai composti chimici. Tra questi si citano l'utilizzo di residui colturali di coltivazione contro i nematodi (Piedra Buena *et al.*, 2007), residui di compostaggio urbani (Gilardi *et al.*, 2013), residui di compostaggio animali (Granke *et al.*, 2012) o sovescio verde come nel caso dell'utilizzo di *Brassica carinata* nei terreni della Murcia (Spagna) (Guerrero *et al.*, 2010). Anche se le suddette tecniche hanno dimostrato un grande potenziale nel controllo dei patogeni del terreno, l'utilizzo delle stesse ha presentato dei conflitti nei dati ottenuti poiché ogni ambiente e quindi ogni patosistema del suolo è di per se differente (Bonanomi *et al.*, 2007). Altri sistemi alternativi alla fumigazione del terreno, anche se poco utilizzati per l'alto costo delle attrezzature, sono le sterilizzazioni al vapore ad alta pressione che vengono eseguite insufflando nel terreno a profondità variabili attraverso ugelli metallici vapore ad alta pressione. Una tecnica nettamente meno costosa e spesso usata in Sicilia è la solarizzazione. Essa rappresenta l'intervento classico per la sterilizzazione del terreno quando, messa in pratica dagli inizi di luglio fino alla fine di agosto, permette di ottenere un terreno sterilizzato e pronto ad accogliere il ciclo produttivo successivo. Questa pratica però, vista la lunga durata e la necessità di lunghi periodi soleggiati, è spesso relegata nelle zone più calde dell'Italia e dell'Europa. Un'alternativa biologica per il controllo dei patogeni tellurici che si sta affermando sempre di più nelle colture ortive è la pratica dell'innesto. Tale tecnica è conosciuta da moltissimi anni anche se le prime applicazioni storicamente riportate sono da ascrivere agli anni venti, quando piante di anguria venivano innestate su portainnesti di zucca. La diffusione della tecnica dell'innesto negli anni sessanta, prima nei paesi asiatici e più tardi in Europa (Leonardi e Romano, 2004), ha contribuito a raggiungere oggi in Italia un quantitativo totale di circa 60 milioni di piantine innestate (Agroinnova, 2012). In questi numeri in continuo cambiamento e di incerta definizione, anguria, melone, pomodoro e melanzana concorrono al 90% della cifra totale mentre cetriolo e peperone ricoprono percentuali minori (4-5%). Per il peperone si registrano circa 1,5 milioni di

piantine innestate. E' da notare, però, che per il peperone dal 2008 al 2012 si è registrato un aumento del 30% di piantine innestate (Agroinnova, 2012). Questo aumento è attribuibile al continuo bando di composti fumiganti del terreno e alla presa di coscienza dei vantaggi del portainnesto. In questo scenario un importante obiettivo del miglioramento genetico è diventato quello dello sviluppo di portainnesti ibridi come strumento complementare ed integrativo agli altri mezzi per il trattamento della coltura e del suolo. Il *breeder* del portainnesto deve oggi tener conto di molteplici aspetti agronomici ed economici mentre effettua il lavoro di selezione e miglioramento genetico. E' necessario, quindi, che il portainnesto garantisca vantaggi oggettivi a favore del suo utilizzo rispetto alle varietà franche di piede. I vantaggi agronomici che un *breeder* ricerca nella costituzione di un portainnesto sono solitamente ascrivibili all'adattamento dello stesso alle condizioni climatiche, alle condizioni pedologiche, al superamento delle avversità biotiche e all'aumento della vigoria e della precocità del nesto, tutte caratteristiche che possono andare a ridurre al minimo gli svantaggi commerciali che il produttore identifica con l'uso del portainnesto stesso e quindi con il costo della piantina e la scarsa conoscenza del comportamento del nuovo individuo formato dal portainnesto e della varietà innestata. Tali problematiche sono superate attraverso la riduzione degli investimenti per i trattamenti chimici, ottenendo l'aumento delle rese grazie alla spinta di vigore che fornisce il portainnesto e allungando i cicli colturali.

Per verificare e confermare che l'uso del portainnesto anche per *Capsicum* è vantaggioso, il lavoro di questa tesi di dottorato è stato incentrato nell'attuazione di un approccio sperimentale nuovo, olistico e a larga scala che ha permesso di valutare direttamente negli areali di produzione più importanti del centro Italia i tre fondamentali aspetti del portainnesto quali resistenza, produttività e adattamento ambientale. Durante la sperimentazione nelle aziende di Fondi è stato confermato come il portainnesto su terreno infestato da *M. incognita* sia decisamente più resistente rispetto al controllo innestato su sé stesso e al controllo non innestato. Tutti i portainnesti, e in tutti i casi in esame, all'atto dell'estirpazione e della seguente valutazione dell'infezione galligena, hanno dimostrato un numero di galle inferiore ai controlli utilizzati. Solo in un caso, il portainnesto MON-10 ha presentato un apparato radicale maggiormente compromesso rispetto ai controlli nella prova. Inoltre, nonostante il patogeno si fosse distribuito all'interno della serra diversamente in relazione alla temperatura e all'impasto del terreno, i genotipi fortemente resistenti (MON-5A, MON-5B e RST-3) hanno ottenuto sempre grado di

infezione medio di 0 rispetto ai controlli i quali, nei diversi replicati, hanno oscillato intorno a gradi di infezione medi tra 6 e 8. Un'ulteriore riflessione può essere fatta sulla differente risposta di resistenza (e quindi grado di infezione galligena) dimostrato dai portainnesti che hanno ottenuto un grado di infezione medio superiore a 0 ma dichiarati resistenti al nematode in precedenti prove di laboratorio. Tali portainnesti hanno mostrato un differente grado di infezione pur risultando in rese di prodotto similari agli altri portainnesti e comunque superiori ai controlli con risultati simili allo studio condotto da Oka *et al.* (2004) sulle prove di produttività di portainnesti di peperone resistenti a *M. incognita*. Questa indicazione conferma studi effettuati su pomodoro (Lopez Perez *et al.*, 2006) che hanno evidenziato come portainnesti dichiarati resistenti ai nematodi possono dimostrare un differente grado di infezione pur mantenendo standard produttivi del tutto simili a quelli degli stessi portainnesti coltivati su terreno sano. Quindi esistono, come per il pomodoro, grandi differenze tra le varietà di portainnesto dichiarate resistenti (Kiewnick *et al.*, 2009). Una spiegazione a questa differente risposta di resistenza può essere fornita dallo studio recentemente effettuato su popolazioni di peperone resistenti derivate da reincroci tra parentali resistenti in omozigosi con linee suscettibili e parentali resistenti in eterozigosi con linee tolleranti. E' stato dimostrato che le linee BC derivate dall'incrocio con il parentale suscettibile siano meno resistenti rispetto alle linee BC derivate dall'incrocio con il parentale tollerante (Djan-Caporalino *et al.*, 2014). Questo dimostra come i geni *Me* di resistenza siano influenzati dal background genetico della linea su cui si vanno a inserire le resistenze (Barbary *et al.*, 2014) e dimostra altresì l'esistenza di QTL (quantitative trait loci) che interferiscono ed interagiscono con i geni di resistenza oggi conosciuti (Djan-Caporalino *et al.*, 2014). Quindi, come è stato dimostrato anche sul cotone (Wang *et al.*, 2012), il patrimonio genetico gioca un ruolo fondamentale nella resistenza al nematode. Per ottenere una forte e duratura resistenza al patogeno occorre, per l'introduzione dei geni *Me*, partire di fatto da materiale tollerante. Tutto questo però, data anche l'assenza di marcatori molecolari affidabili, è di difficile e lunga applicazione al genere *Capsicum* poiché le fonti di resistenza sono inaccettabili dal punto di vista agronomico-qualitativo. Pertanto, piuttosto che creare varietà F1 resistenti al nematode, si preferisce la costituzione di ibridi di portainnesto. Una volta identificata, la buona combinazione di resistenza sembra essere molto stabile e di difficile superamento. Nella letteratura ci sono esempi relativi alla stabilità della resistenza: è il caso della resistenza al nematode in pomodoro, data dal gene *Mi-1*, che è stata superata dopo venti anni

dall'introduzione (Williamson, 1998); è il caso del gene *HI* in patata (per la resistenza al nematode *Globedera rostochiensis*) usato per oltre trent'anni senza essere stato superato (Fuller *et al.*, 2008); è il caso dell'uso del portainnesto Nemaguard nel pesco, che è stato usato per cinquant'anni prima del superamento della resistenza (Williamson e Roberts, 2009). I nostri risultati confermano anche la stabilità della resistenza alle alte temperature da parte dei portainnesti con grado di infezione medio=0. Le temperature nel terreno superiori a 30°C avrebbero potuto portare ad un superamento della resistenza; ciò è già stato osservato in passato per alcuni geni *Mi* di pomodoro (Ammati *et al.*, 1986). In questo studio, invece, i risultati di resistenza anche in presenza di alte temperature nel terreno e nelle serre sperimentali hanno dimostrato la stabilità dei geni di resistenza. Questo conferma i risultati già ottenuti da Djan Caporalino nel 1999 e quelli ottenuti su fagiolo da Omwega *et al.* nel 1990.

Anche il problema relativo al fungo *Phytophthora capsici* è stato affrontato in questa tesi valutando in più anni e direttamente nell'areale di produzione più importante del centro Italia (Battipaglia) la resistenza di numerosi portainnesti. Il patogeno in esame, attaccando oltre 50 specie vegetali (incluse molte cucurbitacee e solanacee (Foster *et al.*, 2010) è recepito come uno tra i maggiori problemi tellurici. E' altresì di difficile controllo chimico per la presenza di ceppi resistenti ai fungicidi (Tamietti e Valentino, 2001). Risultano non sempre efficaci il controllo biologico con l'uso di *Pseudomonas corrugata* e *Chryseobacterium indologenes* (Sang *et al.*, 2012), con la biofumigazione (Wang *et al.*, 2014), oppure con interventi effettuati su pomodoro con *Bacillus subtilis* o *Trichoderma harzianum* (Chowdappa *et al.*, 2013), o con l'ausilio di portainnesti (vista la scarsità di varietà di *Capsicum* resistenti, Jang *et al.*, 2012) come per esempio accade nel pomodoro (Thuran *et al.*, 2011) o nell'anguria (Kousik *et al.*, 2012). Proprio in riferimento a quest'ultimo punto il miglioramento genetico sta lavorando sulla creazione di portainnesti ibridi resistenti piuttosto che di varietà resistenti al patogeno, alla stregua di quanto accade per il patogeno terricolo *Meloidogyne spp.* I risultati da noi ottenuti durante le prove effettuate in serre con conclamata presenza del patogeno hanno dimostrato che il portainnesto è l'unica alternativa biologica efficace nel contrastare l'infezione. Infatti i controlli suscettibili hanno dimostrato tassi di mortalità di oltre l'80% mentre i portainnesti migliori hanno ottenuto tassi di mortalità a fine ciclo intorno al 5%, definendo e accertando dunque che la resistenza ottenuta è oggettiva e statisticamente significativa. E' di indubbia utilità dunque l'uso del portainnesto per garantire una sopravvivenza delle piante ed una

produzione accettabile. Questo studio, tuttavia, ha dimostrato che la resistenza alla *P. capsici* è età dipendente e ceppo dipendente. Infatti anche i migliori portainnesti dichiarati resistenti a *P. capsici* hanno dimostrato, seppur in maniera minima, una certa suscettibilità al fungo presente in serra. Questo può essere spiegato con l'invecchiamento della pianta innestata e quindi potenzialmente in un aumento delle possibilità di essere attaccata dal patogeno, come già dimostrato nel pomodoro (Gilardi *et al.*, 2013). Un'ulteriore spiegazione del dato di mortalità ottenuto può ascriversi alla differente virulenza dei ceppi di *P. capsici* presenti nel terreno. Infatti tale patogeno è capace in breve tempo di superare le resistenze sfruttando la ricombinazione genetica della riproduzione sessuale. Risultati interessanti sono stati ottenuti su piante di pomodoro e peperone resistenti a *P. capsici* (*regular strain*) quando sottoposte ad infezione con differenti ceppi del fungo. Studi condotti su piante di peperone infettate con ceppi isolati da cetriolo, zucca e peperone hanno dimostrato differenti tassi di mortalità in relazione al differente ceppo utilizzato (Foster *et al.*, 2010); allo stesso modo, piante di pomodoro infettate con diversi ceppi fungini hanno dimostrato diverso tasso di mortalità (Quesada-Ocampo *et al.*, 2009, 2010). Al momento non si conoscono perfettamente tutti i geni che regolano la resistenza a *P. capsici*. Alcuni studi hanno evidenziato l'esistenza di un solo gene di resistenza, mentre i risultati di altri studi hanno fatto ipotizzare il coinvolgimento di più geni in correlazione tra loro; altre ricerche, invece, evidenziano un effetto epistatico (Smith *et al.*, 1967, Bartual *et al.*, 1991, 1994, Ortega *et al.*, 1991, 1992, Kim *et al.*, 1989, Palloix *et al.*, 1988, 1990, Walker and Bosland 1999). C'è comunque una forte indicazione che la resistenza a *P. capsici* sia poligenica (Lefebvre and Palloix 1996, Thabius *et al.*, 2003) e analisi QTL hanno consentito di identificare le sei regioni cromosomiche preposte alla resistenza; sono state denominate Phyto 4.1, Phyto 5.1, Phyto 5.2, Phyto 6.1, Phyto 11.1 e Phyto 12.1 e sono state localizzate sui cromosomi 4, 5, 6, 11 e 12 (Pflieger *et al.*, 2001, Lefebvre *et al.*, 2002, Thabuis *et al.*, 2003). Quindi come per la resistenza al nematode, anche la resistenza a *P. capsici* sembrerebbe risentire del genotipo della varietà su cui si intende trasferirne la resistenza.

Nonostante la combinazione, nei portainnesti ibridi, delle resistenze a *M. incognita* e *P. capsici*, da indagini e riscontri oggettivi da parte di addetti al settore (es. aziende produttrici, tecnici commerciali, tecnici nel settore chimico) è conclamato che la costituzione di tali portainnesti non è sufficiente a garantire il buon esito della coltivazione del peperone; infatti, la presenza nel suolo di altri patogeni di origine fungina quali i

Fusarium spp può causare la completa perdita della coltura anche quando innestata (Louws *et al.*, 2010). A seguito di questi riscontri nella progettazione delle attività di ricerca di questa tesi si è pensato alla costituzione di un ibrido di portainnesto che presentasse, oltre alla resistenza a *P. capsici* e *M. incognita*, anche quella a *Fusarium solani*. Gli incroci effettuati tra i migliori portainnesti F1 del 2011 (MON-5A e MON-5B) e la linea resistente FUS-1 ha permesso di ottenere due popolazioni che sono state successivamente reincrociate per due cicli di *backcross* con i parentali ricorrenti. I test di patogenicità hanno confermato la presenza della resistenza a *F. solani*, con segregazione resistenti:suscettibili di 1:1 in entrambe le popolazioni derivate dai reincroci. Il successivo terzo reincrocio (BC3F1) ha portato all'ottenimento di dieci popolazioni derivanti dal parentale ricorrente MON-5A e dieci popolazioni resistenti derivanti dal parentale ricorrente MON-5B. Queste popolazioni saranno destinate a future valutazioni fenomorfolologiche e saranno la base per la creazione di nuove linee parentali con le resistenze a *M. incognita*, *P. capsici* e *F. solani*. È da dire però che, a differenza di molte altre specie ortive quali pomodoro o melone, il genere *Capsicum* fino a ora si è avvantaggiato poco delle possibilità offerte dalla genomica e in particolare dall'uso dei marcatori molecolari per la selezione assistita. Pertanto, l'attuazione di un programma di miglioramento genetico che preveda il *gene stacking* o la piramidizzazione genica è ancora molto legato alla genetica classica del reincrocio. Esistono marcatori SCAR per QTL di resistenza a *P. capsici* (Quirin *et al.*, 2005) e a *M. incognita* (Djan Caporalino *et al.*, 2014); essi sono ad oggi poco efficaci poiché sono stati sviluppati su fonti di resistenza specifiche e, ad ogni modo, l'identificazione attraverso tali marcatori dei QTL di resistenza in linee di interesse agronomico non ne garantisce la resistenza in campo. Tale ragionamento è ancor più valido nell'approccio verso le fonti di resistenza a nuovi patogeni emergenti, come il *Fusarium spp*, che risiedono in specie selvatiche non ancora analizzate dal punto di vista genetico. In letteratura sono presenti esempi di utilizzazione di approcci alternativi all'ibridazione sessuale per il trasferimento di resistenze a stress. La trasformazione genetica con agrobatterio rappresenta una valida possibilità per il trasferimento di resistenze monogeniche. Oggi, infatti, è possibile isolare geni utili da qualsiasi organismo e sintetizzare geni (geni chimerici o sintetici) con sequenze di DNA di organismi differenti. Inoltre, il trasferimento, l'integrazione e l'espressione stabile dei transgeni mediante trasformazione genetica sono possibili in numerose specie di interesse agrario; rispetto ad alcuni decenni orsono, le tecniche di trasformazione genetica si sono sviluppate

a velocità sorprendente e impressionante è l'elenco di geni isolati e di specie trasformate: geni di resistenza sono stati isolati da vari organismi quali batteri (*Bacillus thuringiensis*, *Agrobacterium tumefaciens*, *Photobacterium luminescens*), piante (riso, soia, patata, pomodoro, orzo,) mammiferi (bovini) ed altri insetti (*Manduca sexta*) (Sasaya *et al.*, 2014, Ahmad *et al.*, 2012, Ronald, 2011). Il grosso vantaggio della trasformazione genetica è che, rispetto all'ibridazione sessuale e somatica, essa consente l'introggressione mirata di singoli geni, rendendo il trasferimento genico più semplice ed efficiente. Anche il silenziamento genico può rivelarsi utile nell'induzione delle resistenze. Un recente studio ha dimostrato che la sovraespressione in pomodoro di micro RNA per il silenziamento del pathway metabolico della produzione delle proteine capsidiche del virus *Tomato leaf curl* (Van Vu *et al.*, 2013) può essere molto efficiente. La transgenesi mediata da agrobatterio, però, appare poco applicabile in peperone in quanto specie recalcitrante (Li *et al.*, 2003). A seguito di co-cultura con agrobatterio si ha spesso una bassa percentuale di trasformazione o limitazioni nella rigenerazione (Ashajyoti *et al.*, 2004). Negli ultimi anni in *Capsicum* è stata sperimentata la trasformazione *in pianta*, che prevede di trasformare il meristema apicale dell'embrione per la produzione di chimere T0, il successivo autoincrocio e la produzione di piante T1 che permetterà nella progenie la stabilizzazione dell'evento di trasformazione (Kumar *et al.*, 2011). Ad oggi però sul mercato non esistono varietà di *Capsicum* di derivazione biotecnologica e quindi è ancora necessario, per il superamento di problematiche sia abiotiche che biotiche, il lavoro di miglioramento genetico classico e, per l'aumento di rese produttive su terreni infetti, il ricorso alla tecnica dell'innesto.

Analizzando i dati produttivi ottenuti durante la sperimentazione in terreni infestati dal nematode è stato dimostrato che tutti i portainnesti utilizzati hanno permesso di far raggiungere al nesto produzioni medie superiori dal 30 al 50% rispetto ai controlli innestati su sé stessi e al franco di piede, in accordo con i risultati ottenuti da Gebologlu *et al.* (2011). I risultati da noi ottenuti rappresentano un'evidente dimostrazione del vantaggio dell'attuazione della pratica dell'innesto così come già dimostrato in cetriolo, dove l'innestato su terreno infetto ha dato produzioni superiori rispetto ai controlli franco di piede addirittura del 280% (Al-Debei *et al.*, 2012). Anche in pomodoro gli innestati in terreno con presenza di nematodi hanno prodotto il 15% in più rispetto ai controlli non innestati (Chen *et al.*, 2012). Il nostro risultato è stato avvalorato dalla prova effettuata su terreno infetto sia dal nematode galligeno che dal fungo *P. capsici*. La coesistenza dei patogeni tellurici ha fortemente inibito le produzioni dei controlli non innestati ma, a

confronto delle prove su terreno infettato solamente dal nematode, ha inficiato sui livelli di produzione anche dei portainnesti poiché, a differenza del nematode, *P. capsici* porta alla morte della pianta e di conseguenza al blocco totale della produzione della stessa anche se, come menzionato precedentemente, sono state utilizzate varietà di portainnesto dichiarate resistenti al fungo. *P. capsici* ha la capacità di infettare non solo le parti ipogee ma a volte anche le parti aeree della pianta (Oelke *et al.*, 2003), abbattendo ancora di più la capacità produttiva della pianta attaccata. E' stato inoltre riportato che esistono differenti livelli di resistenza tra le varie parti della pianta, con i frutti più suscettibili rispetto alle foglie e alle radici (Sy e Bosland, 2005). Nelle nostre ricerche il miglior innestato ha garantito una produzione di oltre il 40% in più rispetto al controllo franco di piede. E' dunque evidente che l'ausilio del portainnesto è attualmente la soluzione biologica di maggior successo per far fronte ai patogeni tellurici e garantire produzioni accettabili. È da sottolineare però che, nonostante la scarsa conoscenza delle esigenze colturali dell'innestato e dell'interazione patosistema-pianta, è indubbio il vantaggio economico che l'innestato intrinsecamente porta alla luce quando si tenta di coltivare in terreni infetti. Al di là del costo della piantina che di fatto è doppio per il coltivatore (nello specifico per il peperone si tratta di circa 0,70€ a piantina innestata a fronte dei 0,35€ del non innestato), l'uso del portainnesto abbatte il costo dei trattamenti chimici del terreno, permette l'allungamento del ciclo colturale poiché fornisce al nastro un apparato radicale più forte e, in termini di introito economico, permette di incassare mediamente il 40-50% in più rispetto alla coltura non innestata. C'è da aggiungere che la precocizzazione del nastro che abbiamo evidenziato in tutte le prove rappresenta un vantaggio indiretto in quanto permette di avere prima della concorrenza, che adotta la coltivazione classica, un prodotto vendibile sul mercato (Morra *et al.*, 2013).

Questo studio ha affrontato la tematica dell'uso del portainnesto anche in terreni non infetti per capire se effettivamente l'innestato sia agronomicamente vantaggioso rispetto all'utilizzo di varietà franche di piede. Le prove effettuate nel 2012 e nel 2013 su terreni sterilizzati a Fondi e Battipaglia hanno fornito informazioni significative riguardanti la produttività del portainnesto e l'effetto che quest'ultimo ha portato sulla qualità delle bacche prodotte. È stato interessante notare come l'innestato con tipologia di frutto a bacca rossa e l'innestato a bacca gialla abbiano ottenuto produzioni differenti in relazione al nastro di controllo franco di piede. Per l'innestato a bacca rossa è stato dimostrato come 8 su 13 portainnesti abbiano spinto il nastro a produrre mediamente di più

del nastro franco di piede, con differenze oscillanti tra il 3 % e il 18%, conferendo altresì la precocizzazione del ciclo produttivo. Risultati simili sono stati ottenuti da prove condotte in Spagna (Murcia), dove la varietà commerciale Herminio (a bacca rossa) è stata innestata su quattro differenti portainnesti commerciali ed è stato dimostrato che l'aumento produttivo ottenuto dall'innestato rispetto al controllo è oscillato dal 3% al 20% (Lopez-Marín *et al.*, 2013). Quando il nastro in prova è stato quello di tipologia a bacca gialla, solo due innestati hanno prodotto significativamente di più del nastro franco di piede, confermando però il vantaggio in termini di precocità. Risultati simili sono stati ottenuti anche in melanzana, dove uno studio recente ha dimostrato che differenti tipologie di melanzana (viola, tonda nera, a goccia nera e lunga), innestate su *Solanum torvum*, hanno prodotto meno dei corrispettivi controlli non innestati. L'unica eccezione è stata il bionte *S. torvum*-melanzana lunga (Moncada *et al.*, 2013). Questa differenza in termini produttivi è ascrivibile all'interazione e affinità portainnesto-nastro che intercorre dal momento dell'innesto fino a fine ciclo produttivo. Per confermare l'esistenza di interazioni negative o positive tra portainnesto e nastro, nel lavoro di tesi sono state ulteriormente affrontate ed analizzate prove nelle quali i migliori portainnesti sono stati utilizzati per il raffronto produttivo con varietà a bacca rossa e gialla franche di piede. Dalle prove effettuate su terreno sterilizzato sembrerebbe emergere che l'interazione tra portainnesto e nastro a bacca rossa sia generalmente positiva. Infatti, con le varietà Scintilla e San Marco è stato ottenuto un aumento produttivo rispettivamente del 23% e del 28%, mentre nel caso del nastro Almuden l'innestato ha ottenuto una produzione simile al franco di piede. L'interazione portainnesto e nastro a bacca gialla, invece, ha prodotto risultati poco incoraggianti e in contrasto con quelle ottenute per le varietà a bacca rossa. Un aumento produttivo minimo ma statisticamente significativo è stato ottenuto con il nastro Peppone, dove l'innestato ha superato il franco di piede del 18%. Nei casi in cui l'innestato utilizzato è stato SV9687PH e HLG-0010, l'innestato e il franco di piede hanno dato produzioni simili. Una forte interazione negativa si è ottenuta, invece, quando il nastro utilizzato è stato Eppo. Il franco di piede ha infatti prodotto il 19% in più dei corrispettivi innestati. Tutto ciò dimostra come sia di fondamentale importanza la relazione che si instaura tra portainnesto e nastro (dunque la loro affinità) nell'utilizzo dell'innestato su terreno non infetto. E' fondamentale la scelta del bionte per non incorrere in effetti negativi sulle rese di prodotto come già riportato anche in melanzana da Gisbert (2011).

Un ulteriore aspetto considerato in questa tesi è stata la possibile influenza del portainnesto sulla fenomorfologia del nastro. Dai risultati ottenuti nelle prove è evidente come l'interazione sia andata a modificare la struttura del nastro, la produzione e la bacca. Le interazioni più importanti si sono registrate nella modulazione della vigoria, dell'architettura e della precocità del nastro. Infatti, i portainnesti hanno agito sul nastro in maniera differente, aumentando o diminuendo l'altezza del nastro o addirittura modificandone il portamento e l'entrata in produzione. Questi effetti sono in accordo con i risultati già ottenuti sullo studio di interazione tra il portainnesto *Cucurbita spp.* e il melone (Cohen *et al.*, 2005), tra il portainnesto Beaufort e Maxifort con il pomodoro (King *et al.*, 2010), tra *Solanum torvum* e ibridi commerciali nella melanzana, dove i differenti portainnesti agivano sull'architettura, vigoria, altezza delle piante ed entrata in produzione del nastro (Moncada *et al.*, 2013). Anche nel carciofo l'innesto su portainnesti di cardone ha consentito di ottenere aumenti produttivi e modulazione della precocità (Temperini *et al.*, 2013). Tali effetti dell'interazione tra nastro e portainnesto sono stati evidenziati anche nelle colture arboree, dove è stato dimostrato che differenti portainnesti di differente vigore possono modificare l'architettura del nastro del melo Royal Gala (Van Hooijdonk *et al.*, 2010). Questa forte modulazione sembrerebbe essere una conseguenza dei segnali ormonali (citochinine, auxine, acido abscissico) tra il portainnesto e nastro (Aloni *et al.*, 2010). Nel pesco è stato dimostrato che le piante non innestate avevano un rapporto bilanciato auxina/citochinina, mentre quelle innestate presentavano sul nastro uno sbilanciamento ormonale a favore delle citochinine (Sorce *et al.*, 2002). Uno studio sull'interazione tra nastro e portainnesto ancora più efficace è stato condotto su *Capsicum* innestando due cultivar differenti nella forma del frutto. Esso ha dimostrato un cambiamento della forma del frutto dopo aver innestato una varietà di peperoncino tonda su un portainnesto con bacche più lunghe. Tale cambiamento è stato registrato non solo sulla fruttificazione dell'innestato ma anche sulle due progenie successive ed è stato collegato alla traslocazione di piccoli RNA *interference* dal portainnesto al nastro, con conseguente regolazione epigenetica del gene *CaOvate* che determina la forma del frutto (Tsaballa *et al.*, 2013). Un'azione simile su altri geni target potrebbe essere la spiegazione dell'azione del portainnesto sulla variazione della qualità del frutto, sia positiva che negativa registrata nel nostro lavoro di tesi, sulla regolarità, liscezza, durezza e dimensione dello stesso. Tra questi caratteri, però, il portainnesto ha attuato un'azione modulatrice positiva solamente sulla dimensione del frutto mentre liscezza, durezza e regolarità sono

rimaste invariate, se non in alcuni casi peggiorate. Questi risultati quindi offrono un ulteriore spunto di riflessione riguardo le profonde interazioni che nascono alla creazione del bionte ed è dunque rafforzato il concetto di ricerca della migliore combinazione possibile tra le due entità diverse poiché, come accade per esempio nell'anguria, l'innesto su *Cucurbita* spesso porta a perdite di qualità della polpa (Lee *et al.*, 2010); nella stessa coltura l'innesto su ibridi interspecifici può portare a un abbassamento del pH, rassodamento della polpa ed a un sapore caratteristico di zucca (Davis e Perkins-Veazie, 2006). Esempi di interazione positiva sono stati trovati in pomodoro, dove cultivar innestate di *Radja* hanno dimostrato che il portainnesto, specialmente in situazioni di stress biotico o abiotico, permette al nesto di produrre bacche dal contenuto di acidi titolabili e Brix superiore rispetto alla varietà franca di piede (Flores *et al.*, 2010). Anche in colture arboree quale il clementino *Marisol* (prodotto in Egitto) è stato dimostrato che l'utilizzo del portainnesto *Sour orange* permette di ottenere produzioni elevate e nesti più sviluppati nelle difficili condizioni climatiche egiziane (Bassal, 2009).

E' possibile ipotizzare, quindi, che i risultati ottenuti in questa tesi sono stati determinati dalle caratteristiche di resistenza dei portainnesti in esame, dalle interazioni ormonali nel bionte, dalle interazioni fisiologiche di compatibilità/incompatibilità tra nesto e portainnesto (che sono di fondamentale importanza per la crescita ottimale dell'innestato) e anche dalle tecniche di innesto, che possono influire fortemente sulla buona riuscita dell'innestato; disturbi fisiologici indotti da discontinuità di unione vascolare, infatti, possono portare ad un'inibizione della crescita del nesto. A fronte di questo, però, nella coltivazione del peperone il portainnesto potrebbe permettere il ritorno in produzione di terreni abbandonati perché fortemente infetti, l'abbattimento dei costi dei prodotti chimici di sanificazione del terreno (con conseguente minore impatto ambientale), l'aumento delle rese e l'allungamento dei cicli colturali, a tutto vantaggio dell'agricoltore, dell'ambiente e del consumatore finale.

5. CONCLUSIONI

L'orticoltura degli ultimi anni, soprattutto quella protetta, è ancora profondamente segnata dall'uscita di scena del bromuro di metile, prodotto principe per la sterilizzazione del terreno fino a circa 10 anni fa. Questa situazione ha riaperto il problema di come gestire il terreno. La congiuntura attuale rappresenta l'occasione per una svolta nella direzione di un'orticoltura protetta a basso impatto ambientale che garantisca però introiti adeguati al produttore. In questa ottica si stanno prendendo in considerazione tutte le possibili soluzioni e una di queste è sicuramente rappresentata dalla tecnica dell'innesto. L'uso del portainnesto, anche se ampiamente utilizzato nell'arboricoltura e nell'orticoltura, rappresenta una novità nella coltivazione del peperone. Presso la Monsanto da alcuni anni sono in corso attività sperimentali finalizzate alla costituzione e alla selezione di portainnesti resistenti alle più importanti fitopatie del terreno dell'areale italiano. Per questo tipo di attività si registra un'oggettiva mancanza di letteratura e la sperimentazione condotta durante questo dottorato è stata finalizzata alla valutazione di aspetti fondamentali e necessari per la definizione di portainnesto agronomicamente e commercialmente valido. E' emerso che anche per il peperone il portainnesto può diventare il futuro riferimento per produzioni su terreni infetti, per l'aumento delle rese produttive e per l'abbattimento dei trattamenti chimici e dei costi legati ad essi. Dai risultati raggiunti nella sperimentazione effettuata per lo svolgimento di questa tesi di dottorato è infatti emerso quanto segue:

- Il portainnesto può essere anche in peperone un'alternativa biologica alla fumigazione del terreno e i migliori genotipi hanno dimostrato una elevata resistenza ai maggiori patogeni tellurici dell'areale laziale e campano quali *M. incognita* e *P. capsici*;
- Il portainnesto in terreni infetti garantisce la sopravvivenza al nastro, una maggiore precocità e una produzione agronomicamente accettabile superiore di oltre il 40% rispetto ai controlli non innestati;
- In terreni non infetti l'innestato è riuscito, con la spinta vegetativa del portainnesto, ad essere più precoce e a produrre fino al 28% in più rispetto alle varietà di controllo non innestate;
- Può esserci un'interazione nastro-portainnesto dipendente dalle varietà di nastro; questa può incidere notevolmente sull'architettura, l'altezza, la precocità, e la fruttificazione del nastro stesso

- Attraverso reincroci è stato possibile produrre popolazioni BC3F1 con resistenze multiple (a *F. solani*, *M. incognita* e *P. capsici*). Queste popolazioni potranno garantire ai futuri portainnesti un più ampio spettro di resistenza ai patogeni tellurici

6. BIBLIOGRAFIA

- Azura, 2011. Azura Group Disma International, France-Morocco
- Agroinnova, 2012. Impiego dell'innesto erbaceo: problemi e prospettivi per la problemi e prospettivi per la lotta ai patogeni tellurici. LIFE SUSTUSEProject. LIFE08 ENV/IT/000432
- Ahmad P., Ashraf M., Younis M., Hu X., Kumar A., Akram N.A., Al-Qurainy F., 2012. Role of transgenic plants in agriculture and biopharming. *Biotech. Adv.* 30, 524-540
- Al-Debei H.S., Makhadmeh I., Abu-Al Ruz I., Al-Abdallat A., Ayad J.Y., Al Amin N., 2012. Influence of different rootstocks on growth and yield of cucumber (*Cucumis sativus* L.) under the impact of soil-borne pathogens in Jordan, *Journal of Food Agriculture and Environment* 10, 343-349
- Aloni B., Cohen R., Karni L., Aktas H., Edelstein M., 2010. Hormonal signaling in rootstock-scion interactions. *Sci. Hortic.* 127, 119-126
- Ammati M., Thomason I.J., McKinney H.E., 1986. Retention of resistance to *Meloidogyne incognita* in *Lycopersicon* genotypes at high soil temperature. *J.Nematol.* 18, 491-495
- Ashajyoti S.S., Bhat S., Kuruvinashetti M.S., 2004. Development of in planta transformation protocol in chili (*Capsicum annuum* L.) indian *J.Genet. Plant Breeding* 64, 228-230
- Barbary A., Palloix A., Fazari A., Marteu N., Castagnone-Sereno P., Djian-Caporalino C., 2014. The plant genetic background affects the efficiency of the pepper major nematode resistance genes *Me1* and *Me3*. *Theor. Appl. Genet.* 127, 499-507
- Bartual R., Carbonell E.A., Marsal J.I., Tello J.C., and Campos T., 1991. Gene action in the resistance of peppers (*Capsicum annuum* L.) to *Phytophthora* stem blight (*Phytophthora capsici* L.). *Euphytica*, 54, 195–200
- Bartual R., Lacasa A., Marsal J.I., and Tello J.C., 1994. Epistasis in the resistance of pepper to *Phytophthora* stem blight (*Phytophthora capsici* L.) and its significance in the prediction of double cross performances. *Euphytica*, 72, 149–152
- Bassal M.A., 2009. Growth, yield and fruit quality of Marisol clementine grown on four rootstocks in Egypt. *Sci. Hortic.* 119, 132-137
- Biles C.L., Brunton B.D., Wall M.M., Rivas M., 1995. *Phytophthora capsici* zoospore infection of pepper fruit in various physical environments. *Proc Okla Acad Sci* 75, 1-5
- Black L.L., Green S.K., Hartman G.L., Poulos J.M., 1991. Pepper disease: a field guide. Asian Vegetable Research and Development Center (AVRDC), Shanhua Taiwan
- Bonanomi G., Antignani V., Pane C., Scala F., 2007. Suppression of soilborne fungal diseases with organic amendments. *J. Plant Pathol.* 89, 311-324

- Carter W.W., 1982. Influence of soil temperature on *Meloidogyne incognita* resistant and susceptible cotton, *Gossypium hirsutum*. Journal of Nematology 14, 343–346
- Caruso P., Pimpini F., Bianco V.V., 1990. Peperone in Orticoltura di Patron Editore, Bologna, 846-858
- Chen Z., Wang P., Zhou Y., Ji Y., Liang P., Wan Z., HaoJ., 2012. Effects of Different Resistant Rootstocks on Yield and Quality of Grafted Tomato and Control Effects of *Meloidogyne incognita*, China Vegetables 1, 83-87
- Chowdappa P., Mohan Kumar S.P., Jyothi Lakshmi M., Upreti K.K., 2013. Growth stimulation and induction of systemic resistance in tomato against early and late blight by *Bacillus subtilis* OTPB1 or *Trichoderma harzianum* OTPB3. Biological Control 65, 109-117
- Choen R., Burger Y., Horev C., Porat A., Edelstein M., 2005. Performance of Galia-type melons grafted on to *Cucurbita* rootstock in *Monosporascus cannonballus* infested and non-infested soils. Annal of Applied Biology 146, 381-387
- Conn K., Cheewawiriyakul S., Gabor B., Kao J., Salati R., 2006. Pepper and eggplant disease guide, Seminis vegetable seeds edition
- Daubeze A.M., Hennart J.W., Palloix A., 1995. Resistance to *Leveillula taurica* in pepper (*Capsicum annuum* L.) is oligogenically controlled and stable in Mediterranean regions. Plant Breeding 114, 1-6
- Davis A.R., Perkins-Veazie P., 2006. Rootstock effect on plant vigor and watermelon fruit quality. Cucurbit. Genetic. Coop. Rpt., 28-29
- Di Vito M. e Sasanelli N., 1993. Pomodoro e peperone. In: Miglioramento genetico delle piante per resistenza a patogeni e parassiti, Edagricole-ENEA, 527-542
- Di Vito M., Zaccheo G., Catalano F., and Oreste G., 1995. Effect of temperature on stability of resistance to root-knot nematode (*Meloidogyne spp.*). Pp. 230–232 in EUCARPIA IXth Meeting on Genetics and Breeding on Capsicum and Eggplant. Budapest, Hungary
- Djian Caporalino C., Pijarowski L., Juanel A., Lefebvre V., Daubeze A., Palloix A., Dalmaso A., and Abad P., 1999. Spectrum of resistance to root-knot nematodes and inheritance of heat-stable resistance in pepper (*Capsicum annuum* L.) Theor. Appl. Genet 99, 496-502
- Djian Caporalino C., Pijarowski L., Fazari A., Samson M., Gaveau L., O'Byrne C., Lefebvre V., Caranta C., Palloix A., and Abad P., 2001. High resolution genetic mapping of the pepper (*Capsicum annuum* L.) resistance loci Me3 and Me4 conferring heat-stable resistance to root-knot nematodes (*Meloidogyne spp.*). Theor. Appl. Genet. 103, 592-600

Djian Caporalino C., Fazari A., Arguel M.J., Vernie T., VandeCastele C., Faure I., Brunoud G., Pijarowski L., Palloix A., Lefebvre V., Abad P., 2007 Root-knot nematode (*Meloidogyne spp.*) Me resistance genes in pepper (*Capsicum annuum* L.) are clustered on the P9 chromosome Theor. Appl. Genet 114, 473-486

Djian-Caporalino C., Palloix A., Fazari A., Marteu N., Barbary A., Abad P., Sage-Palloix A.M., Mateille T., Risso S., Lanza R., Taussig C., Castagnone-Sereno P., 2014. Pyramiding, alternating or mixing: comparative performances of deployment strategies of nematode resistance genes to promote plant resistance efficiency and durability. BMC Plant Biol. 14:53

Dropkin V. H., 1969. The necrotic reaction of tomatoes and other hosts resistant to *Meloidogyne*: Reversal by temperature. Phytopathology 59, 1632–1637

Eisenback J. D. & Triantaphyllou H. H., 1991. Root-knot Nematodes: *Meloidogyne* species and races. In: Manual of Agricultural Nematology, W. R. Nickle. (Ed). Marcel Dekker, New York. 281 – 286

FAOSTAT, 2014, F.A.O.

Flores F.B., Sanchez-Bel P., Estan M.T., Martinez-Rodriguez M.M., Moyano E., Morales B., Campos J.F., Carcia-Abellán J.O., Egea M.I., Fernández-García N., Romojaro F., Bolarin M., 2010. The effectiveness of grafting to improve tomato fruit quality. Sci. Hortic. 125, 211-217

Foster J.M., Hausbeck M.K., 2010. Resistance of pepper to *Phytophthora* crown, root, and fruit rot is affected by isolate virulence. Plant Dis. 94, 24-30

Fuller V.L., Lilley C.J., Urwin P.E., 2008. Nematode resistance. New Phytol. 180, 27-44

Geboloğlu N., Yanar Y., Yanar D., Akyazı F., P. Çakmak P., 2011. Role of Different Rootstocks on Yield and Resistance for *Fusarium oxysporium*, *Verticillium dahliae* and *Meloidogyne incognita* in Grafted Peppers. Eur.J. Hort. Sci. 76, 541-544

Gilardi G., Baudino M., Moizio M., Pugliese M., Garibaldi A., Gullino M.L., 2013. Integrated management of *Phytophthora capsici* on bell pepper by combining grafting and compost treatment. Crop Protection 53, 13-19

Gilardi G., Gullino M.L., Garibaldi A., 2013. Critical aspects of grafting as a possible strategy to manage soil-borne pathogens, Sci. Hortic. 149, 19-21

Gisbert C., Prohens J., Raigon M.D., Stommel J.R., Nuez F., 2011. Eggplant relatives as sources of variation for developing new rootstocks: Effects of grafting on eggplant yield and fruit apparent quality and composition. Sci. Hortic. 128, 14-22

Granke L.L., Quesada-Ocampo L.M., Lamour K., Hausbeck M.K., 2012. Advances in research on *Phytophthora capsici* on vegetable crops in the United States. Plant Dis. 95, 1588-1600

- Greenlee W.H., 1986. Pepper breeding. In: Breeding vegetables crops, Basset M.J. Editore, Gainesville, Florida 69-134
- Griffin G.D., 1969. Effects of temperature on *Meloidogyne hapla* in alfalfa. *Phytopathology* 59, 599–602
- Guerrero M.M., Ros C., Lacasa C.M., Martinez V., Lacasa A., Fernandez P., Martinez M.A., Nunez-Zofio M., Larregla S., Diez-Rajo M.A., Bello A., 2010. Effect of biosolarization using pellets of *Brassica carinata* on soil-borne pathogens in protected pepper crops. *Acta Hort.* 883, 37-47
- Heiser C.B. Jr, 1976. Peppers; *Capsicum* (Solanaceae), in Evolution of crop plants (N. W. Simmonds, ed.), Longman, London
- Hendy H., Pochard E., Dalmaso A., 1985. Transmission hereditaire de la resistance aux *Meloidogyne* portee par deux lignees de *Capsicum annuum*: etudes descendances d'omozygotes issues d'androgenese. *Agronomie* 5, 93-100
- Holmes G.J., Lancaster M.E., Rodriguez R.J., Redman R.S., 2001. Relative susceptibility of cucurbit and solanaceous crops to *Phytophthora* blight. *Phytopathology* 91 (Suppl 6):S39
- Holtzmann O. V., 1965. Effect of soil temperature on resistance of tomato to root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*). *Phytopathology* 55, 990–992
- Hussey R. S. & Grundler F.M.W., 1998. Nematode parasitism of plants. In: The Physiology and Biochemistry of free-living and plant-parasitic nematodes. Perry, R. N. & Wright, D. J. (Eds), CABI Publishing, UK. 213 – 243
- Jang Y., Yang E., Cho M., Um Y., Ko K., Chun C., 2012. Effect of grafting on growth and incidence of *Phytophthora* blight and bacterial wilt of pepper (*Capsicum annuum* L.). *Hortic. Environ. Biotechnol.* 53, 9-19
- Jatala P., and Russell C.C., 1972. Nature of sweet potato resistance to *Meloidogyne incognita* and the effects of temperature on parasitism. *Journal of Nematology* 4, 1–7
- JMP 10.0, SAS Institute Inc.
- Khan M. W., and Haider S.H., 1991. Comparative damage potential and reproduction efficiency of *Meloidogyne javanica* and races of *M. incognita* on tomato and eggplant. *Nematologica* 37, 293–303
- Kiewnick S., Dessimoz M., Franck L., 2009. Effects of the Mi-1 and the N root-knot nematode-resistance gene on infection and reproduction of *Meloidogyne enterolobii* on tomato and pepper cultivars. *J Nematol.* 41(2), 134-9
- Kim Y.J., Hwang B.K., and Park K.W., 1989. Expression of age-related resistance in pepper plants infected with *Phytophthora capsici*. *Plant Dis.* 73, 745–747

- King S.R., Davis A.R., Zhang X., Crosby K., 2010. Genetics, breeding and selection of rootstocks for *solanaceae* and *cucurbitaceae*. *Sci. Hortic.*, 127, 106-111
- Kousik S.C., Donaho R.S., Hassell R., 2012. Resistance in watermelon rootstocks to crown rot caused by *Phytophthora capsici*, *Crop protection* 39, 18-25
- Kumar A.M., Reddy K.N., Manjulatha M., Arellano E.S., Sreevathsa R., Ganeshan G., 2011. A rapid, novel and high-throughput identification of putative bell pepper transformants generated through in planta transformation approach. *Sci. Hortic.* 129, 898-903
- Lanteri S., Acquadro A., Quagliotti L., Portis E., 2002. RAPD and AFLP assessment of genetic variation among and within populations of a landrace of pepper (*Capsicum annuum* L.) grown in north-west Italy. *Genetic Resources and Crop Evolution* 50, 723-735
- Lee J.M., Kubota C., Tsao J.S., Bie Z., Hoyos Echevarria P., Morra L., Oda M., 2010. Current status of vegetable grafting: diffusion, grafting techniques, automation. *Sci. Hortic.* 127, 93-105
- Lefebvre V., Palloix A., 1996. Both epistatic and additive effects of QTLs are involved in polygenic induced resistance to disease: a case study, the interaction pepper-*Phytophthora capsici* Leonian. *Theor Appl Genet* 93, 503–511
- Lefebvre V., Pflieger S., Thabuis A., Caranta C., Blattes A., Chauvet J.C., Daubèze A.M., Palloix A., 2002. Towards the saturation of the pepper linkage map by alignment of three intraspecific maps including know-function genes. *Genome* 45(5), 839-54
- Leonardi C., Romano D., 2004. Recent issues on vegetable grafting. *Acta Hortic.* 631, 163-174
- Li D., Zhao K., Xie B., Zhang B., Luo K., 2003. Establishment of a highly efficient transformation system for pepper (*Capsicum annuum* L.). *Plant Cell Rep.* 21, 785-788
- Lopez-Marin J., Gonzalez A., Perez-Alfocea F., Egea-Gilabert C., Fernandez J., 2013. Grafting is an efficient alternative to shading screens to alleviate thermal stress in greenhouse-grown sweet pepper. *Sci. Hortic.* 149, 39-46
- Lopez-Perez J.A., Le Strange M., Kaloshian I., Ploeg A.T., 2006. Differential response of *Mi* gene-resistant tomato rootstocks to root-knot nematodes (*Meloidogyne incognita*). *Crop Protection* 25, 382-388
- Louws F.J., Rivard C.L., Kubota K., 2010. Grafting fruiting vegetables to manage soilborne pathogens, foliar pathogens, arthropods and weeds. *Sci. Hortic.* 127, 127-146
- Madulu J., & Trudgill D. L., 1994. Influence of temperature on *Meloidogyne javanica*. *Nematologica*, 40, 230-243

- Maggenti A.R. & Allen M.W., 1960 The origin of the gelatinous matrix in *Meloidogyne*. Proceedings of the Helminthological Society of Washington, 27, 4-10
- Moncada A., Miceli A., Vetrano F., Mineo V., Planeta D., D'Anna F., 2013. Effect of grafting on yield and quality of eggplant (*Solanum melogena* L.). Sci. Hortic. 149, 108-114
- Morra L., Bilotto M., Carrieri R., Lahoz E., 2013. Innesto e solarizzazione nel controllo di *Phytophthora capsici* su peperone. Colture protette 1, 64-70
- Mozzetti C., Ferraris L., Tamietti G., Matta A., 1995. Variation in enzyme activities in leaves and cell suspensions as markers of incompatibility in different *Phytophthora*-pepper interactions. Physiol Mol Plant Pathol 46,95–107
- Mullin B.A., Abawi G.S., and Pastor-Corrales M.A., 1991. Modification of resistance expression of *Phaseolus vulgaris* to *Meloidogyne incognita* by elevated soil temperatures. Journal of Nematology 23, 182–187
- Nono-Womdim R., Marchoux G., Pochard E., Palloix A., Gebre-Selassie K., 1991. Resistance of pepper lines to the movement of Cucumber Mosaic Virus. J. Phytopathology 132, 21-32
- Oelke L.M., Bosland P.W., Steiner R., 2003. Differentiation of race specific resistance to *Phytophthora* root rot and foliar blight in *Capsicum annuum*. J Am Soc Hortic Sci 128,213–218
- Oka Y., Offenbach R., Pivonia S., 2004. Pepper Rootstock Graft Compatibility and Response to *Meloidogyne javanica* and *M. incognita*, J. Nematol. 36(2), 137-141
- Omwega C.O., Thomason I. J. , and Roberts P. A., 1990. Effect of temperature on expression of resistance to *Meloidogyne spp.* in common bean (*Phaseolus vulgaris*) Journal of Nematology 22, 446–451
- Ortega R., Espanol C.P., and Zueco J.C., 1991. Genetics of resistance to *Phytophthora capsici* in the pepper line 'SM-334'. Plant Breed. 107, 50–55
- Ortega R., Palazón Español C., and Cuartero Zueco J., 1992. Genetic relationships among four pepper genotypes resistant to *Phytophthora capsici*. Plant Breed. 108, 118–125
- Palloix A., Daubeze A.M., and Pochard E., 1988. *Phytophthora* root rot of pepper influence of host genotype and pathogen strain on the inoculum density-disease severity relationships. J. Phytopathology, 123, 25–33
- Palloix A., Pochard E., Phaly T., Daubeze A.M., 1990. Recurrent selection for resistance to *Verticillium dahliae* in pepper. Euphytica 47, 79-89
- Palloix A., Daubeze A.M, Phaly T., and Pochard E., 1990. Breeding transgressive lines of pepper for resistance to *Phytophthora capsici* in a recurrent selection system. Euphytica, 51, 141–150

- Pflieger S., Palloix A., Caranta C., Blattes A., Lefebvre V., 2001. Defense response genes co-localize with quantitative disease resistance loci in pepper. *Theor Appl Genet* 103, 920–929
- Piedra Buena A., Garcia-Alvarez A., Diez-Rojo M.A., Ros C., Fernandez P., Lacasa A., Bello A., 2007. Use of pepper crop residues for the control of root-knot nematodes. *Bioresource Techn.* 98, 2846-2851
- Quesada-Ocampo L.M., Hausbeck M.K., 2009. Resistance in tomato and wild relatives to *Phytophthora capsici*. *Physiopathology* 99, S106
- Quesada-Ocampo L.M., Hausbeck M. K., 2010. Resistance in Tomato and Wild Relatives to Crown and Root Rot Caused by *Phytophthora capsici*, *Phytopathology* 100(6), 619-27
- Quirin E.A., Ogundiwin E.A., Prince J.P., Mazourek M., Briggs M.O., Chlanda T.S., Kim K-T., Falise M., Kang B-C. and Jahn, M.M., 2005. Development of sequence characterized amplified region (SCAR) primers for detection of Phyto.5.2, a major QTL for resistance to *Phytophthora capsici* Leon. in pepper. *Theor Appl Genet* 110, 605-612
- Rajput J.C. e Parulekar Y.R., 1998 *Capsicum*, Handbook of vegetable science and technology. 203-224
- Regione Campania Politiche Agricole e Forestali, Disciplina del peperone, 2013
- Ristaino J. B., Johnston S.A., 1999. Ecologically based approaches to management of *Phytophthora* blight on bell pepper. *Plant Dis* 83, 1080-1089
- Ronald P., 2011. Plant Genetics, Sustainable Agriculture and Global Food Security. *Genetics* 188, 11-20
- Russo V.M., 2012. Peppers: botany, production and uses. *Crop Prod.Sci. in Hortic. Series*, No22
- Sasaya T., Nakazono-Nagaoka E., Saika H., Aoki H., Hiraguri A., Netsu O., Uehara-Ichiki T., Onuki M., Toki S., Saito K., Yotou O., 2014. Transgenic strategies to confer resistance against viruses in rice plants. *Front. Microbiol.* 4,409,1-11
- Sang M. K., Kim K.D., 2012. Plant growth-promoting rhizobacteria suppressive to *Phytophthora* blight affect microbial activities and communities in the rhizosphere of pepper (*Capsicum annuum* L.) in the field. *Applied Soil ecology* 62, 88-97
- Sasser J. N., 1977. Worldwide dissemination and importance of the root-knot nematode, *Meloidogyne spp.* *J. Nematol.* 22,585-589
- Scarascia Mugnozza e AA.VV., 1992. Miglioramento genetico vegetale, Patron Editore
- Sijmons P.C., Atkinson H.J. & Wyss U., 1994. Parasitic strategies of root nematodes and associated host cell responses. *Annual Review of Phytopathology*, 32, 235 - 259

- Siviero P. e Gallerani M., 1993. La coltivazione del peperone. Ed. L'Informatore Agrario, Verona, 1° ed.
- Smith P.G., Kimble K.A., Grogan R.G., and Millett A.H., 1967. Inheritance of resistance in peppers to *Phytophthora* root rot. *Phytopathology*, 57, 377–379
- Sorce C., Massai R., Picciarelli P., Lorenzi R., 2002. Hormonal relationships in xylem sap of grafted and ungrafted *Prunus* rootstock. *Sci. Hortic.* 93, 333-342
- Sy O., Bosland P.W., 2005. Inheritance of *Phytophthora* stem blight resistance as compared to *Phytophthora* root rot and foliar blight in *Capsicum annuum* L. *J. Am. Hortic. Sci.* 30, 75-78
- Tamietti G., Valentino D., 2001. Physiological characterisation of a population of *Phytophthora capsici* L. From Northern Italy. *J. Plant. Path.* 83, 199-205
- Temperini O., Calabrese N., Temperini A., Rouphael Y., Tesi R., Lenzi A., Carito A., Colla G., 2013. Grafting artichoke onto cardoon rootstocks: Graft compatibility, yield and *Verticillium* wilt incidence. *Sci. Hortic.* 149, 22-27
- Thabuis A., Palloix A., Pflieger S., Daubèze A.M., Caranta C., and Lefebvre V., 2003. Comparative mapping of *Phytophthora* resistance loci in pepper germplasm: evidence for conserved resistance loci across *Solanaceae* and for a large genetic diversity. *Theor. Appl. Genet.* 106, 1473–1485
- Thabuis A., Lefebvre V., Bernard G., Daubeze A.M., Phaly T., Pochard E., Palloix A., 2004. Phenotypic and molecular evaluation of a recurrent selection program for a polygenic resistance to *Phytophthora capsici* in pepper. *Theor Appl Genet* 109, 342–351
- Thies J.A., and Fery R.L., 1998. Modified expression of the N gene for southern root-knot nematode resistance in pepper at high soil temperatures. *J. of the American Society of Hortic. Sci.* 123, 1012–1015
- Thuran A., Ozmen N., Serbeci M.S., Seniz V., 2011. Effects of grafting on different rootstocks on tomato fruit yield and quality. *Hort. Sci.* 38, 142-149
- Trudgill D.L., 1995 An assessment of the relevance of thermal time relationships to nematology. *Fundamental and Applied Nematology*, 18, 407-417
- Tsaballa A., Athanasiadis C., Pasentsis K., Ganopoulos I., Nianiou-Obeidat I., Tsaftaris A., 2013. Molecular studies of inheritable grafting induced changes in pepper (*Capsicum annuum* L.) fruit shape. *Sci. Hortic.* 149, 2-8
- UPOV, 2014. International union for the protection of new varieties of plants. Geneva, Switzerland

- Van Hooijdonk B.M., Woolley D.J., Warrington I.J., Tustin D.S., 2010. Initial alteration of scion architecture by dwarfing apple rootstocks may involve shoot-root-shoot signalling by auxin, gibberellin, and cytokinin. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 85, 59-65
- Villavecchia V., Eigenmann G., 1995. *Nuovo dizionario di merceologia e chimica applicata*, Hoepli
- Vu V.T., Choudhury N.R., Mukherjee S. K., 2013. Transgenic tomato plants expressing artificial microRNAs for silencing the pre-coat and coat proteins of a *begomovirus*, Tomato leaf curl New Delhi virus, show tolerance to virus infection, *Virus Res.* 172(1-2), 35-45
- Walker S.J., and Bosland P.W., 1999. Inheritance of *Phytophthora* root rot and foliar blight resistance in pepper. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 124, 14–18
- Walsh B.M., Hoot S.B., 2001. Phylogenetic Relationships of *Capsicum* (*Solanaceae*) Using DNA Sequences from Two Noncoding Regions. *Int. J. Plant Sci.* 162(6), 1409-1418
- Wang C., Ulloa M., Mullens T.R., Yu J.Z., Roberts P.A., 2012. QTL analysis for transgressive resistance to root-knot nematode in interspecific cotton (*Gossypium spp.*) progeny derived from susceptible parents. *PlosOne*7
- Wang Q., Ma Y., Yang H., Chang Z., 2014. Effect of biofumigation and chemical fumigation on soil microbial community structure and control of pepper *Phytophthora* blight. *World J Microbiol Biotechnol.* 30(2), 507-18
- Williamson V.M., 1998. Root-knot nematode resistance genes in tomato and their potential for future use. *Annu. Rev. Phytopatol.* 36, 277-293
- Williamson V.M., Roberts P.A., 2009. Mechanisms and genetics of resistance. In: Perry R.N., Moens M., Starr J.L., (eds) *Root-knot nematodes*. CAB International, Wallingford, 301-325
- Wyss U., Grundle F.M.W. & Munch A., 1992 The parasitic behaviour of second stage juveniles of *Meloidogyne incognita* in roots of *Arabidopsis thaliana*. *Nematologica*, 38, 98-111